

Marina Catalan Costella

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTO DE MASSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SACO GRANDE EM FLORIANÓPOLIS/SC

Florianópolis
2018



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Engenharia Sanitária e Ambiental

Marina Catalan Costella

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTO DE
MASSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SACO GRANDE EM
FLORIANÓPOLIS/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para a Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Rafael A. dos
Reis Higashi
Coorientadora: Eng. Caroline Ester
Christ, Ma

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Costella, Marina Catalan

Mapeamento de áreas suscetíveis a movimento de massa na bacia hidrográfica do Saco Grande em Florianópolis/SC / Marina Catalan Costella ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, coorientadora, Caroline Ester Christ, 2018.

81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

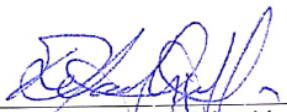
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. SHALSTAB. 3. Borehole Shear Test. 4. Movimentos de massa. 5. Bacia do Saco Grande. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. II. Christ, Caroline Ester. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Marina Catalan Costella

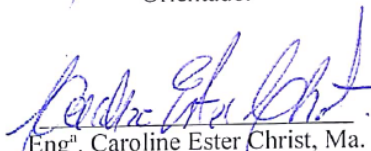
**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTO DE
MASSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SACO GRANDE EM
FLORIANÓPOLIS/SC**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 26 de Junho de 2018.

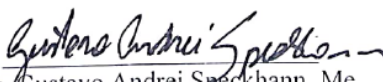


Prof. Rafael dos Reis Higashi, Dr.
Orientador

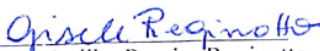


Eng.ª Caroline Ester Christ, Ma.
Coorientadora

Banca Examinadora:



Eng. Gustavo Andrei Speckhann, Me.
Membro da banca



Eng.ª Gisele Marilha Pereira Reginatto, Ma.
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina por ter proporcionado toda a estrutura necessária para minha formação durante estes anos de graduação.

Ao Departamento e aos Professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental pela estrutura e ensinamentos oferecidos.

Ao meu orientador Professor Higashi pelos ensinamentos passados em sala de aula, apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora Carol, por toda sua disponibilidade, atenção, execução dos ensaios, correções e ensinamentos recebidos durante este período.

Aos meus colegas de curso, principalmente das fases iniciais, que me ajudaram e ensinaram nos momentos difíceis, me deram suporte emocional e motivação para que eu não desistisse nos primeiros obstáculos.

Aos amigos que fiz ao longo desses anos, pelo companheirismo e por serem peças fundamentais por eu chegar onde cheguei.

Aos meus amigos de Chapecó, Amanda, Laiz e Raul, por continuarem presentes na minha vida apesar da distância.

Aos meus primeiros amigos em Florianópolis Agnes, Maria e Vitor, pelo acolhimento, carinho, amizade e apoio durante todos estes anos.

Às minhas amigas Amanda, Mariana, Marina e Viviane pela amizade, carinho e companheirismo dos últimos anos.

Ao Thomas, pelo acolhimento, amizade, viagens e parceria de sempre.

Ao Yuri, pela amizade, parceria e toda a paciência comigo.

Ao Ralph, pelo amor, cuidado, preocupação, paciência e atenção. Por estado presente na reta final e me tranquilizado.

À tia Vera, por todo amor, cumplicidade e carinho que construímos nessa vida. Por todo apoio e dedicação que recebi.

Finalmente, agradeço à minha família por todo incentivo à minha busca de conhecimento, pelo apoio que recebi para correr atrás dos meus sonhos. Por estarem presentes mesmo com a distância, por se mostrarem fortes mesmo em momentos difíceis. Mãe, pai, mano, eu nunca vou encontrar uma maneira de agradecer tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim.

RESUMO

Os movimentos de massa podem ocasionar desastres naturais principalmente quando aliados à intervenção antrópicas, e, nesse caso causam perdas significativas nos âmbitos social e econômico. A expansão urbana é uma das causas de ocorrência de ocupações irregulares, muitas vezes em terrenos de declividade acentuada, o que aumenta a probabilidade de ocorrência dos movimentos de massa. O objetivo deste trabalho foi gerar mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos na Bacia Hidrográfica do Saco Grande em Florianópolis/SC, com base na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo obtidos através do ensaio *Borehole Shear Test* e aliados ao mapeamento preexistente foi elaborado o mapa de suscetibilidade. As análises de suscetibilidade de deslizamentos rasos foram realizadas utilizando o modelo matemático *Shallow Landsliding Stability Model (SHALSTAB)* através do *software ArcGIS* resultando no mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos classificando as áreas da bacia hidrográfica conforme sua classe de suscetibilidade. Como resultado percebeu-se que há predominância das áreas com baixa suscetibilidade na bacia e que a presença de mancha urbana em áreas de alta suscetibilidade é menor que 1%. Além disso, o solo PVg está distribuído em áreas de baixa e alta suscetibilidade, enquanto os solos Cg e Cde estão localizados principalmente em áreas de baixa suscetibilidade.

Palavras-chave: *SHALSTAB*, *Borehole Shear Test*, Movimentos de massa, Bacia do Saco Grande.

ABSTRACT

Mass movements may be caused by natural disasters coupled with anthropic intervention and cause significant losses in economic and social spheres. Urban sprawl is one of the causes of occurring irregular occupation, mainly if it occurs in steep terrain, resulting in the occurrence of mass movement. The purpose of this work was to map the areas located in the Saco Grande Hydrographic Basin in Florianópolis/SC with the aim to elaborate maps indicating the degree of susceptibility to shallow landslides. Based on the determination of soil shear strength obtained through the Borehole Shear Test and allied to the preexisting mapping, the susceptibility map was elaborated. The landslide susceptibility analyses were realized using the SHALSTAB mathematical model through ArcGIS software resulting in the map of susceptibility to shallow landslides classifying the areas of the basin according to their susceptibility. As a result, it was noticed that there is a predominance of low susceptibility areas within the basin and that the presence of urban use of the soil in high susceptibility areas is less than 1%. In addition, the PVg soil is distributed in areas of low and high susceptibility, while the Cg and Cde soils are located mainly in areas of low susceptibility.

the areas classified stable within the basin. This was also observed in the results of the generated susceptibility map, where areas of low susceptibility are represented by a greater percentage.

Keywords: SHALSTAB, Borehole Shear Test, Mass movement, Saco Grande basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rastejos.....	29
Figura 2 - Corrida de massa.....	30
Figura 3 - Deslizamento	30
Figura 4 - Escorregamento rotacional	31
Figura 5 - Escorregamento translacional	32
Figura 6 - Escorregamento em cunha	32
Figura 7 - Queda de rocha	33
Figura 8 - Equipamento do Borehole Shear Test.....	35
Figura 9 - Representação dos dados vetoriais.....	37
Figura 10 - Representação dos dados matriciais.....	37
Figura 11 - Representação do modelo hidrológico.....	43
Figura 12 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Saco Grande.....	49
Figura 13 - Bairros que compõem a Bacia Hidrográfica do Saco Grande.....	50
Figura 14 - Características climáticas de Florianópolis.....	51
Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Bacia	52
Figura 16 - Mapa das Unidades Geotécnicas da Bacia.....	54
Figura 17 - Fluxograma metodológico	57
Figura 18 - Localização dos pontos de ensaio com as respectivas unidades geotécnicas.....	60
Figura 19 – Perfuração com um trado manual.....	61
Figura 20 - Preenchimento do furo com água	62
Figura 21 - Aplicação da tensão cisalhante	62
Figura 22 - Envoltória de ruptura no ponto 1	65
Figura 23 – Envoltória de ruptura do Ponto 2	66
Figura 24 – Envoltória de ruptura do Ponto 3	67
Figura 25 - Mapa de declividades da Bacia Hidrográfica	68
Figura 26 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais gerado pelo modelo SHALSTAB	69
Figura 27 - Mapa de suscetibilidade simplificado	70
Figura 28- <i>Raster</i> resultado do SHALSTAB sobreposto a aerofoto de Florianópolis	72
Figura 29 - Classes de suscetibilidade sobrepostas a aerofoto ...	73
Figura 30 - Zoom 2.....	73
Figura 31 - Zoom 1	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Simbologia simplificada das classes pedológicas	40
Tabela 2 - Simbologia simplificada das classes geológicas	40
Tabela 3 - Classes de estabilidade do modelo SHALSTAB.....	46
Tabela 4 - Compatibilização das classes de estabilidade com graus de suscetibilidade	47
Tabela 5 - Tipos de uso do solo e áreas correspondentes	53
Tabela 6 - Unidades geotécnicas e áreas correspondentes	55
Tabela 7 - Informações dos dados preexistentes utilizados.....	58
Tabela 8 - Dados de entrada da camada geotécnica	63
Tabela 9 - Resultados BST Ponto 1	64
Tabela 10 - Resultados BST Ponto 2.....	65
Tabela 11 - Resultados BST Ponto 3.....	66
Tabela 12 - Tabela resumo dos parâmetros de resistência.....	67
Tabela 13 - Número de pixels e área por classe de estabilidade e suscetibilidade	71
Tabela 14 - Área de tipo de uso do solo por classe de estabilidade	74
Tabela 15 - Área de tipo de uso do solo por suscetibilidade	74
Tabela 16 - Área de unidade geotécnica por classe de estabilidade	75
Tabela 17 - Área de unidade geotécnica por suscetibilidade	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
ASA – Automatic SHALSTAB Analysis
BST – Borehole Shear Test
EM-DAT – Emergency Event Database
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FS – Fator de Segurança
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital de Terreno
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PFM – Prefeitura Municipal de Florianópolis
SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
SHALSTAB – Shallow Landsliding Stability Model
SIG – Sistemas de Informações Geográficas
SPT – Standard Penetration Test

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Objetivo geral.....	27
1.2	Objetivos específicos	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1	MOVIMENTOS DE MASSA.....	29
2.1.1	Rastejos	29
2.1.2	Corridas de massa	29
2.1.3	Deslizamentos	30
2.1.3.1	Deslizamento Rotacional	31
2.1.3.2	Deslizamento Translacional.....	31
2.1.3.3	Deslizamento em Cunha	32
2.1.4	Queda de Rochas.....	33
2.2	Resistência ao Cisalhamento do Solos.....	33
2.2.1	Ângulo de Atrito Interno.....	33
2.2.2	Coesão	34
2.3	<i>Borehole Shear Test</i>	34
2.4	Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	35
2.4.1	Representação e Estrutura de Dados	36
2.4.1.1	Dado Vetorial	36
2.4.1.2	Dado Matricial	37
2.5	Mapeamento Geotécnico.....	38
2.5.1	Metodologia Davison Dias	38
2.6	Modelo Matemático <i>SHALSTAB</i>	41
2.6.1	Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita	41
2.6.2	Modelo Hidrológico de Estado Uniforme.....	42
2.6.3	Combinação dos Modelos	44
2.7	Mapa de Suscetibilidade	46
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	49

3.1	Clima.....	51
3.2	Uso e Ocupação do Solo.....	51
3.3	Unidades Geotécnicas.....	53
4	MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1	Levantamento de Dados Preexistentes.....	58
4.2	Elaboração de Mapas Iniciais	58
4.3	Ensaio	58
4.4	Processamento Computacional de Dados	62
4.4.1	<i>SHALSTAB</i>	62
5	RESULTADOS	64
<i>5.1</i>	<i>Borehole Shear Test</i>	64
5.1.1	Ponto 1	64
5.1.2	Ponto 2	65
5.1.3	Ponto 3	66
<i>5.2</i>	<i>SHALSTAB</i>	68
6	CONCLUSÃO E SUGESTÃO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Desastres naturais são sérios distúrbios desencadeados por perigos naturais que resultam em perdas socioambientais e podem ser classificados em diversos grupos e tipos (KOBIYAMA; MICHEL; GOERL, 2012). De acordo com o EM-DAT (2017), movimentos de massa secos são enquadrados em desastres geofísicos, enquanto deslizamentos estão no subgrupo hidrológico. Assim, os deslizamentos normalmente ocorrem quando a água infiltra no solo formando uma massa semifluida em um terreno pouco consolidado (CASTRO, 2003), podendo ser potencializados pela ação antrópica, sobretudo às ocupações irregulares.

Dessa forma, fenômenos naturais, como a chuva, podem facilitar a ocorrência de deslizamentos, gerando consequências preocupantes caso haja ocupação urbana. Assim, a escolha deste tema foi feita considerando o aumento da ocupação irregular na região da Bacia Hidrográfica do Saco Grande, em Florianópolis/SC, motivada pela expansão urbana deste local, ocasionada, entre outros, em virtude do aumento no número de empreendimentos instalados na rodovia SC-401. Além disso, a região tem como agravante o relevo com declividade acentuada, contribuindo para a ocorrência de deslizamentos e o alto índice pluviométrico, com média anual acima de 1500 mm (EPAGRI, 2007 *apud* ODRESKI, 2012), que ocorre em todo o município de Florianópolis.

Com a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), as análises territoriais das interações entre os fenômenos naturais e a expansão das áreas urbanas podem ser simplificadas. A partir da associação de uma base de dados preliminares (hidrografia, relevo e geotecnia, MDE) com os resultados de ensaios de campo nesse estudo, foi possível a execução do modelo matemático *Shallow Landsliding Stability Model (SHALSTAB)* por meio do *software ArcGIS*.

Diante disso, a proposta deste estudo foi a caracterização da bacia hidrográfica do Saco Grande, com o objetivo de gerar mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos na Bacia Hidrográfica do Saco Grande.

1.1 Objetivo geral

Gerar mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos na Bacia Hidrográfica do Saco Grande, em Florianópolis/SC.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos (coesão e ângulo de atrito) por meio do ensaio *Borehole Shear Test*;
- Espacializar os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos pontualmente;
- Comparar as classes de suscetibilidade com o desenvolvimento urbano/uso e ocupação do solo;
- Comparar as classes de suscetibilidade com a presença de unidades geotécnicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

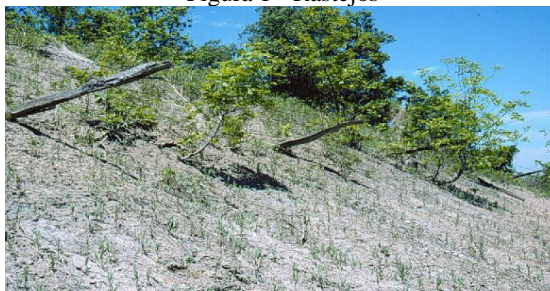
2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa são movimentos gravitacionais de solos ou rochas. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 1991 elaborou uma classificação simplificada dos tipos de movimentos de massa: rastejos e corridas de massa, escorregamentos e quedas/tombamentos.

2.1.1 Rastejos

São movimentos gravitacionais de massa lentos que podem ser medidos em centímetros por ano. São contínuos ou não, sendo que este último está associado a alterações climáticas sazonais intensificadas por períodos de chuva. Procedem movimentos mais rápidos, como os deslizamentos (CASTRO, 2003). Podem ocorrer em terrenos com baixa declividade e, por serem lentos, possibilitam sua detecção prévia, a partir de feições de instabilidade, como trincas, degraus de abatimento e deformação na superfície (IPT, 2014). A ocorrência de eventos de alto índice pluviométrico pode acelerar a ocorrência do fenômeno, bem como atividades antrópicas. Um exemplo de ocorrência de rastejo pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Rastejos



Fonte: North Dakota State University (2017).

2.1.2 Corridas de massa

É caracterizado por ser um movimento complexo e com alta energia de transporte, podem apresentar fluxos concentrados de blocos

rochosos e troncos vegetais imersos em uma matriz de solo com alta concentração de sedimentos de diferentes granulometrias, provenientes da ocorrência de deslizamento nas encostas (IPT, 2014). Um exemplo da ocorrência desse fenômeno pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Corrida de massa



Fonte: Joachin Lent (2008).

2.1.3 Deslizamentos

São caracterizados por ser um movimento de massa com alta velocidade, que se desenvolve em encostas com declividade e amplitude média alta e seguindo superfície de ruptura planar (translacional), circular (rotacional) ou em cunha (acompanhando planos de fragilidade estrutural dos maciços terrosos ou rochosos). Assim como os rastejos, os escorregamentos são causados normalmente por eventos de chuvas de alta intensidade ou índices pluviométricos acumulados (IPT, 2014). Muitas vezes é precedido por rastejo e tem sua ocorrência acelerada por atividades antrópicas. Um exemplo desse fenômeno pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Deslizamento



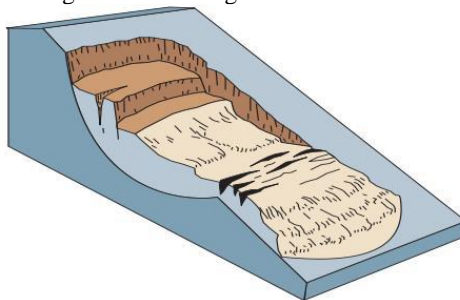
Fonte: Bruno Domingos (2017).

Os deslizamentos podem ser classificados em rotacionais, translacionais ou em cunha, dependendo do movimento em que realiza quando ocorre.

2.1.3.1 Deslizamento Rotacional

O escorregamento rotacional ocorre quando a superfície de ruptura é côncava e o movimento do deslizamento é mais ou menos rotacional sobre um eixo paralelo ao contorno da inclinação. O solo se movimenta ao longo da superfície de ruptura com uma pequena deformação interna. A parte mais acima do solo se move quase verticalmente para baixo. Ocorrem com mais frequência em solos homogêneos e geralmente a superfície de ruptura tem um raio grande (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). A representação desse tipo de escorregamento pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Escorregamento rotacional

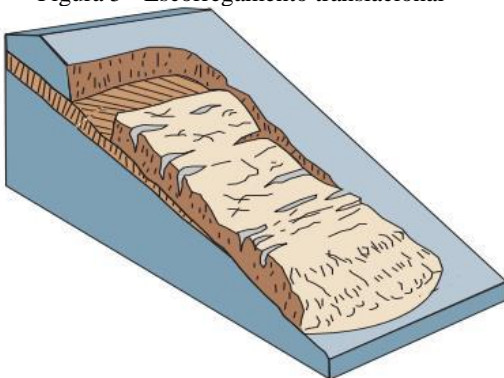


Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

2.1.3.2 Deslizamento Translacional

O deslizamento translacional, também conhecido como deslizamento raso, acontece quando o solo se move para baixo ou para fora ao longo de uma superfície planar com um pequeno movimento rotacional ou com uma inclinação para trás. Pode progredir bastante em distância, caso a superfície de ruptura seja suficientemente inclinada, ao contrário do escorregamento rotacional. Ocorre em solos inconsolidados (soltos) até com presença de rochas. Geralmente ocorre ao longo de descontinuidades geológicas como falhas, juntas ou no contato entre rocha e solo. Normalmente são mais rasas que os escorregamentos rotacionais (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008). A representação deste tipo de escorregamento pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Escorregamento translacional

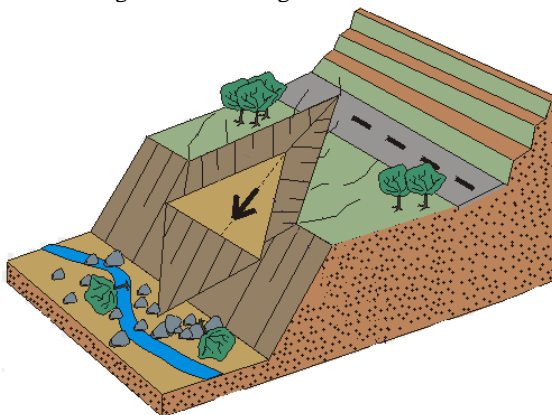


Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

2.1.3.3 Deslizamento em Cunha

O escorregamento em cunha ocorre se a intersecção da descontinuidade principal está localizada na área entre a face do talude e os círculos que representam o ângulo de atrito (KOLEINI; VAN ROOY; BUMBY, 2012). Em outras palavras, ocorre quando o solo desliza sobre uma superfície formada por um ou mais planos. Para melhor entendimento, este tipo de escorregamento está representado na Figura 6.

Figura 6 - Escorregamento em cunha

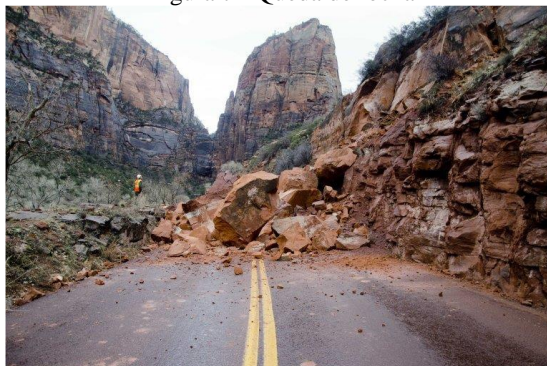


Fonte: Infanti Jr e Fornasari (1998)

2.1.4 Queda de Rochas

Movimento abrupto de blocos rochosos que se desprendem de encostas íngremes, paredões rochosos ou falésias. Os principais fatores de predisposição são descontinuidades litológicas-estruturais dos maciços rochosos e a ação do intemperismo físico-químico potencializado por eventos chuvosos (IPT, 2014). Um exemplo desse fenômeno pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Queda de rocha



Fonte: Fox13 (2017)

2.2 Resistência ao Cisalhamento do Solos

A resistência ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo. É representada por meio de dois parâmetros: a coesão e o ângulo de atrito interno. Em solos homogêneos não estruturados, com baixa concentração de argila, os parâmetros de cisalhamento são principalmente dependentes da granulometria. Já em solos estruturados, com maior teor de argila, a estabilidade aumenta de acordo com o aumento do grau de agregação, devido a maiores valores de ângulo de atrito interno e coesão entre agregados (LEBERT; HORN, 1991). Segundo Pinto (2006), a resistência ao cisalhamento é definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode sofrer antes da ruptura, devendo-se essencialmente ao atrito das partículas.

2.2.1 Ângulo de Atrito Interno

O atrito interno é a parcela de resistência ao cisalhamento de um solo, correspondente à força de atrito desenvolvida no deslizamento dos

grãos (ABNT, 1995). É gerado entre as superfícies dos grãos por deslizamento, quando um tende a se mover em relação ao outro, e por possuírem superfície rugosa, há uma infinidade de contatos pontuais (SBROGLIA, 2015).

A resistência ao atrito depende do coeficiente de atrito, que pode ser definido como a força tangencial necessária para ocorrer deslizamento de um plano em relação a outro paralelamente a este. O ângulo formado entre a força normal e a resultante das forças, tangencial e normal, é chamado de ângulo de atrito (SBROGLIA, 2015).

2.2.2 Coesão

A coesão representa a soma de todas as forças realizadas pelas ligações químicas do solo (ABROL et al., 1990), ela depende fundamentalmente da natureza e composição do solo, independente das tensões aplicadas (ABNT, 1993). Pode ser classificada como real ou aparente. A coesão real é resultado da atração entre as partículas por forças eletrostáticas. Já a coesão aparente é resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo, ocorrendo em solos parcialmente saturados, onde os meniscos formados tendem a se aproximar (FREDLUND & RAHARDJO, 1993, *apud* SILVA & CARVALHO, 2007, p.854). É chamada de coesão aparente, pois quando o solo é totalmente seco ou saturado, ela desaparece.

2.3 *Borehole Shear Test*

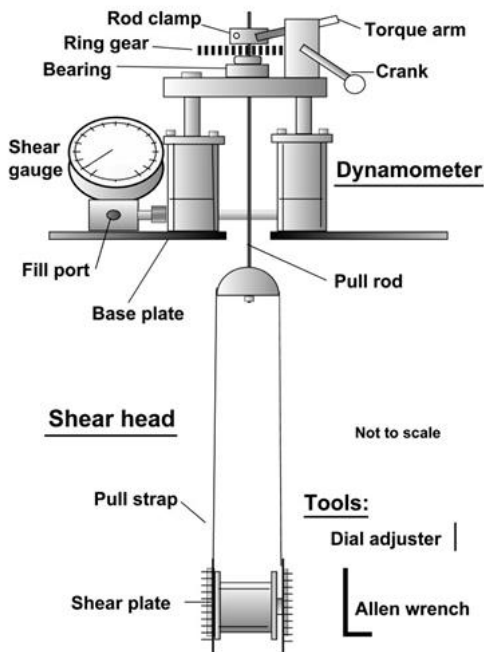
O *Borehole Shear Test* (BST) é um ensaio de cisalhamento realizado em campo e é uma alternativa ao ensaio de cisalhamento direto, executado em laboratório, para a obtenção de resultados mais rápidos. Nesse método são realizados vários testes de cisalhamento direto dentro de um mesmo furo no solo. Eles são efetuados através de uma sonda que possui duas placas dentadas. Por meio de uma bomba manual de ar com um manômetro acoplado, o dispositivo localizado entre os pratos infla e uma tensão normal é gerada no solo. O teste é realizado em duas fases: a fase de consolidação e a fase de cisalhamento (LUTENEGGER, 1981).

Na fase de consolidação, após a aplicação da tensão normal no furo é necessário esperar que o solo se consolide, o tempo de espera deve ser de no mínimo 5 minutos, sendo que em solos argilosos deve ser maior do que 15 minutos. Já na fase de cisalhamento é feita a medição

do valor máximo da tensão cisalhante. O processo é repetido até que se tenha atingido a tensão máxima (LUTENEGGER, 1981).

O resultado das medições é plotado para descrever a envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb, com o ângulo de atrito e a coesão (LUTENEGGER, 1981). A Figura 8 mostra todos os componentes do equipamento *Borehole Shear Test*.

Figura 8 - Equipamento do Borehole Shear Test



Fonte: Handy Geotechnical Instruments, 20??

2.4 Sistema de Informações Geográficas – SIG

O SIG é um conjunto organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal, destinados a eficientemente obter, armazenar, atualizar, manipular e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciadas (ESRI, 1992). Câmara, Davis e Monteiro (2001) citam que:

Na sociedade, uma atividade que sempre foi importante foi a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais,

propriedades, animais e plantas. Isso era feito em documentos e mapas de papel, o que impedia uma análise mais detalhada que combinasse diversos mapas e dados. Na segunda metade do século passado, ocorreu o desenvolvimento simultâneo da tecnologia de informação, tornando possível armazenar essas informações em ambiente computacional, iniciando o Geoprocessamento.

Dessa forma, o Geoprocessamento pode ser aplicado para integrar de uma forma mais dinâmica informações de diferentes áreas, como: cartografia, transportes, sistemas de energia, planejamento urbano e regional, estudos ambientais e epidemiológicos, implantação de sistemas de saneamento, estradas e PCH's.

Em uma visão mais abrangente, é possível considerar que o SIG tem como componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados (CÂMARA et al., 1996).

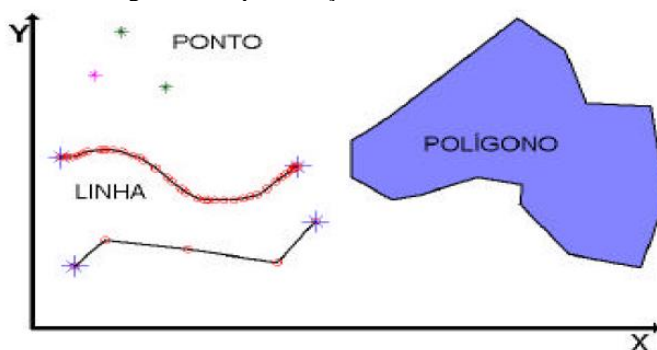
2.4.1 Representação e Estrutura de Dados

De acordo com Lacruz e Souza Filho (2009), os dados do SIG devem ser todos representados com características espaciais dentro do sistema. A representação do espaço pode ser realizada a partir da definição dos formatos vetorial e matricial.

2.4.1.1 Dado Vetorial

Nessa estrutura os dados definem bordas ou direção de feições por uma série de pontos que formam linhas e representam a extensão gráfica do objeto. Os polígonos são representados por uma sequência de linhas que não se interceptam e formam uma superfície. Assim, nos dados vetoriais todos os tipos de objetos espaciais são representados (LACRUZ; SOUZA FILHO, 2009). Essa representação pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Representação dos dados vetoriais



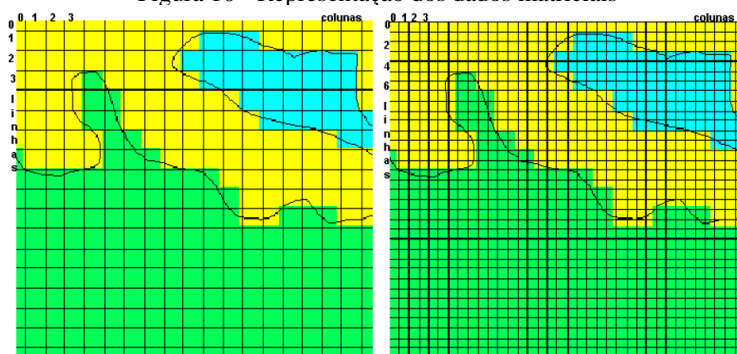
Fonte: Câmara, Davis e Monteiro (2001)

2.4.1.2 Dado Matricial

Os dados matriciais, também conhecidos como *raster*, consistem em um conjunto de células, *pixels*, localizadas em coordenadas contíguas, como uma matriz de duas dimensões. O atributo geográfico de cada célula é definido por sua localização na matriz, e cada célula contém um número representando o tipo ou valor do atributo (LACRUZ; SOUZA FILHO, 2009). Essa representação pode ser observada na Figura 10.

Em dados matriciais, um ponto é representado por uma célula, uma linha por duas ou mais células, e um polígono por um conjunto de células.

Figura 10 - Representação dos dados matriciais



Fonte: Câmara, Davis e Monteiro (2001)

2.5 Mapeamento Geotécnico

De acordo com Higashi (2006):

Mapeamento geotécnico pode ser definido como uma metodologia, em que sob a forma de um mapa são representadas as principais características geomecânicas do solo, podendo ser utilizado para a previsão do comportamento de polígonos de solos chamados de unidades geotécnicas, o que possibilita a sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia.

O mapeamento geotécnico tem como objetivo a definição de regiões em que o comportamento geotécnico frente ao uso e à ocupação do solo é semelhante. Ele consiste no emprego de dados reunidos e interpretados de um trabalho cartográfico que visa à delimitação de zonas de ocorrência de solos com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes. Essas zonas são conhecidas como unidades geotécnicas (DIAS, 1995).

Algumas aplicações do mapeamento foram exemplificadas por Higashi (2006) e são: planejamento territorial; áreas de erosão; estabilidade de encostas; solos compressíveis; materiais para pavimentação e banco de dados de sondagens SPT.

2.5.1 Metodologia Davison Dias

Para a elaboração de mapeamentos geotécnicos, diversas metodologias foram propostas em diferentes lugares do mundo. Neste estudo, a metodologia considerada foi a proposta por Dias (1995), que foi desenvolvida especialmente para atender os solos brasileiros.

Davison Dias realizou estudos em 1985, 1986, 1987, 1989 e 1993, que permitiram o desenvolvimento da Metodologia de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas para solos tropicais (HIGASHI, 2006). Essa metodologia surgiu a partir da necessidade de caracterizar grandes áreas de solos tropicais onde não havia a possibilidade de se realizar um grande volume de ensaios geotécnicos (SBROGLIA, 2015).

Para que seja feito o mapeamento, de acordo com Dias (1995), cartas geológicas, pedológicas e topográficas são superpostas e originam uma nova carta, onde são delimitadas as unidades geotécnicas. Em cada

unidade geotécnica, as características do horizonte de alteração da rocha e as características dos horizontes superficiais dos seus perfis típicos, podem ser inferidas pela geologia e pedologia respectivamente. Já a topografia vai auxiliar na definição dos limites entre as unidades (DIAS, 1995).

As unidades pedológicas são utilizadas com a finalidade da caracterização do solo para fins agronômicos. Já as unidades geotécnicas abordam o comportamento frente à utilização do solo em obras de engenharia, com o intuito de obter parâmetros que tornem possível mensurar as características do comportamento mecânico do material (CARAMÉZ, 2017).

A simbologia utilizada para a identificação das classes geotécnicas é a composição das simbologias das classes pedológicas e geológicas. De acordo com Higashi 2006:

As letras maiúsculas “XYZ” correspondem à classificação pedológica dos horizontes superficiais (horizonte A e horizonte B) e as minúsculas “xyz” são identificadoras da geologia caracterizando os horizontes C, RA e R. Na classificação geológica é utilizada a rocha dominante. No caso de haver mais de uma litologia dominante no material do substrato, adotam-se as siglas destas litologias em letras minúsculas separadas por vírgula.

As simbologias das classificações podem ser observadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Simbologia simplificada das classes pedológicas

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzois Indiscriminados
AQ	Areias Quartzosa	P	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizem	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BT	Brunizem Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Plíntico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Cambico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: (DAVISON DIAS, 2001 *apud* HIGASHI, 2012, p. 31).

Tabela 2 - Simbologia simplificada das classes geológicas

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andresito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico (*)	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

(*) – Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização.

Fonte: (DAVISON DIAS, 2001 *apud* HIGASHI, 2012, p. 31).

2.6 Modelo Matemático *SHALSTAB*

O modelo matemático *SHALSTAB* (*Shallow Landslide Stability* - estabilidade de deslizamentos rasos) foi desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994). É baseado em dados físicos e de resistência dos solos e de relevo, e possibilita definir no mapa as zonas suscetíveis a ocorrência de deslizamentos rasos. Para isso, ele combina um modelo hidrológico a um modelo de estabilidade de encosta (GUIMARÃES et al, 2003).

O modelo de estabilidade de encosta infinita combina parâmetros geotécnicos e topográficos para simular o grau de estabilidade do solo. O modelo hidrológico de estado uniforme utiliza parâmetros geomorfológicos e hidrológicos para estimar o grau de saturação do terreno (SBROGLIA, 2015).

2.6.1 Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita

A estabilidade de uma encosta pode ser expressa por meio da teoria do talude infinito de Mohr-Coulomb. Na análise as extremidades são ignoradas, isso se justifica para locais onde o comprimento da encosta é muito maior do que a profundidade do solo. Nessa teoria, no momento de ruptura de uma encosta, as forças cisalhantes são iguais as forças estruturantes (MICHEL; KOBIYAMA; GOERL, 2012), ou seja:

$$\tau = c + (\sigma - u)\tan\phi \quad (1)$$

Onde:

τ , tensão cisalhante no momento de ruptura (N/m²);

c , coesão do solo (N/m²);

σ , tensão normal (N/m²);

u , poro-pressão (N/m²);

ϕ , ângulo de atrito interno do solo (graus).

Conforme citado por Michel, Kobiyama e Goerl (2012) para a aplicação da Equação (1), Selby (1993) propôs uma formulação onde o comprimento da encosta é consideravelmente maior do que a espessura do solo, considerando uma largura unitária da encosta, portanto a análise é bidimensional. A tensão cisalhante é representada pela componente do peso do solo paralela a encosta. A poro-pressão é caracterizada pela pressão a que está submetida a água situada nos poros do solo e atua no

sentido de aliviar a componente da tensão normal. Assim, o modelo descrito por Selby (1993) é apresentado na Equação (2):

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2 \theta) \cdot \tan \phi \quad (2)$$

Onde:

ρ_s , densidade do solo úmido (kg/m^3);

z , profundidade do solo (m);

θ , declividade da encosta (graus);

ρ_w , densidade da água (kg/m^3);

h , altura da camada de água (m);

c_r , coesão das raízes (N/m^2)¹;

c_s , coesão do solo (N/m^2).

O fator de segurança (FS) pode ser obtido através da divisão da parcela da Equação (2) que representa as forças estruturantes do solo, pela parcela que representa as forças desestruturantes do solo, como apresentado na Equação (3):

$$FS = \frac{c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2 \theta) \cdot \tan \phi}{\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

Dessa maneira, quando $FS = 1$, as forças estruturantes são exatamente iguais às forças desestruturantes; quando $FS < 1$, as forças desestruturantes são maiores que as estruturantes e a encosta está propensa a rupturas; e quando $FS > 1$ as forças estruturantes são maiores que as desestruturantes, assim, teoricamente a encosta está estável.

É possível observar pela equação, que como já mencionado anteriormente, o aumento do nível d'água aumenta a instabilidade da encosta. Assim, as características da chuva influenciam diretamente no fator de segurança.

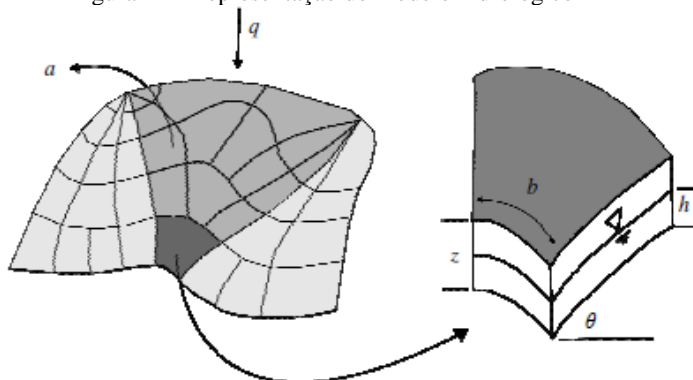
2.6.2 Modelo Hidrológico de Estado Uniforme

O modelo hidrológico utilizado é apresentado por O'loughlin (1986) e baseia-se nos princípios de Beven e Kirkby (1979), os quais demonstram que a saturação de um solo em função da topografia está

¹ A coesão das raízes contribui para o aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

relacionada com a razão da área de drenagem onde a água é captada (a) e conduzida ao local de escoamento passando pela unidade de comprimento (b) pela declividade da encosta (θ) (SBROGLIA, 2005), como pode ser observado na Figura 11. Esse modelo assume um estado uniforme de descarga que simula o padrão de variação de altura da coluna d'água durante as épocas de chuvas.

Figura 11 - Representação do modelo hidrológico



Fonte: Montgomery e Dietrich (1994, *apud* Michel, Kobiyama e Goerl, 2012)

Onde:

a , área de contribuição a montante (m^2);

b , comprimento de contorno da fronteira inferior de cada elemento (m);

q , taxa de recarga uniforme (m/d).

O'loughlin (1986, *apud* Michel, Kobiyama e Goerl, 2012) definiu que a umidade é a parcela saturada do solo em determinado estado uniforme de recarga. Assim, o nível de saturação do solo é obtido através da relação entre a água que entra no sistema sob forma de recarga uniforme e a água que sai dele através da camada saturada do solo. A formulação final do modelo hidrológico de estado uniforme é representada por:

$$W = \frac{q \cdot a}{b \cdot T \cdot \sin \theta} = \frac{h}{z} \quad (4)$$

$$\therefore T = K_s \cdot z \cdot \cos \theta \quad (5)$$

Onde:

W (m/m) é a umidade do solo;

T (m²/d) é a transmissividade do solo;

K_s é a condutividade hidráulica saturada, constante ao longo do perfil do solo.

2.6.3 Combinação dos Modelos

Conforme mencionado, o *SHALSTAB* é baseado na combinação dos dois modelos descritos anteriormente, o modelo de estabilidade de encosta infinita e o modelo hidrológico de estado uniforme. As simulações são realizadas por meio do *Software ArcGIS*, utilizando o Modelo Digital de Terreno (MDT) no formato *raster* para a extração dos valores de elevação que embasam o cálculo das áreas de contribuição e das declividades do terreno. Segundo Montgomery e Dietrich (1998, *apud* Reginatto 2013), o modelo calcula o grau de suscetibilidade a escorregamentos para cada *pixel* dentro de um *grid* (malha), obtido a partir de um MDE.

Resolvendo a Equação (2) em função de h/z, a Equação (6), que representa o grau de saturação necessário para que ocorra a desestabilização da encosta é obtida. O *SHALSTAB* baseia-se nessa relação para indicar os locais da área de estudo com maior probabilidade de ruptura (MICHEL; KOBAYAMA; GOERL, 2012).

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (6)$$

Baseando-se na Equação (6), a instabilidade incondicional e a estabilidade incondicional podem ser definidas. Quando há ausência de coluna d'água (h/z igual à zero), e a relação entre os parâmetros de resistência não conseguem compensar a elevada declividade da encosta, ocorre a instabilidade incondicional (MICHEL; KOBAYAMA; GOERL, 2012). Conforme representado na Equação (7).

$$\tan\theta \geq \tan\phi + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot z} \quad (7)$$

Quando a razão h/z é igual a 1, ou seja, a camada de solo está completamente saturada, e a relação entre os parâmetros de resistência é maior que a declividade da encosta, ocorre a estabilidade incondicional

(MICHEL; KOBIYAMA; GOERL, 2012). Pode ser observada na Equação (8).

$$\tan\theta \leq \tan\phi \cdot \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot z}\right) \quad (8)$$

Quando essas condições não estão estabelecidas, ou seja, quando o solo está parcialmente saturado, as Equações (4) e (6) podem ser igualadas para que seja feito o acoplamento entre o modelo de estabilidade de encosta infinita e o modelo hidrológico de estado uniforme (MICHEL; KOBIYAMA; GOERL, 2012), como visto na Equação (9):

$$\frac{q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin\theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (9)$$

A formulação utilizada pelo modelo *SHALSTAB* é a Equação (9) reescrita em função das variáveis hidrológicas, q e T , apresentada na Equação (10):

$$\frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin\theta \cdot \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) + \frac{c}{\cos^2\theta \cdot \tan\phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (10)$$

A Equação (10) refere-se ao grau de estabilidade da encosta. Os parâmetros de entrada necessários são: coesão (c), ângulo de atrito (ϕ), peso específico saturado (ρ_s) e profundidade do solo (z), assim como um MDT de boa qualidade para a obtenção de a , b e θ . Dessa maneira, o modelo gera sua resposta em função de q/T , que é responsável pela classificação do terreno de acordo com seu grau de estabilidade. Ainda segundo Michel, Kobiyama e Goerl (2012), Dietrich e Montgomery (1998) propuseram 7 classes de estabilidade. As duas extremas são referentes à satisfação das Equações (7) e (8), e as outras cinco são geradas em função do parâmetro q/T . Para simular a situação mais crítica, o solo é considerado totalmente saturado. A divisão das classes de estabilidade pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de estabilidade do modelo SHALSTAB

	Classe de Estabilidade	Sigla	Log(q/T)
Instáveis	Incondicionalmente Instável e Não Saturado	A	-10 a -9,9
	Incondicionalmente Instável e Saturado	B	-9,9 a -3,1
	Instável e Saturado	C	-3,1 a -2,8
	Instável e Não Saturado	D	-2,8 a -2,5
Estáveis	Estável e Não Saturado	E	-2,5 a -2,2
	Incondicionalmente Estável e Não Saturado	F	-2,2 a 9,9
	Incondicionalmente Estável e Saturado	G	9,9 a 10

Fonte: Adaptado de Guesser (2016).

Apesar de o modelo ter apresentado bons resultados em diversos estudos, existem limitações. Dentre estas limitações incluem-se a falta de dados confiáveis do solo necessários para parametrizar os modelos e a necessidade de generalizar os parâmetros de solo e clima em grandes áreas (WITT, 2005).

2.7 Mapa de Suscetibilidade

Áreas suscetíveis a movimentos de massa são áreas que apesar de não avaliarem situações de risco de perdas materiais ou de vidas humanas momentaneamente, ainda possuem condicionantes naturais ou artificiais que indicam sua predisposição para que ocorram acidentes futuros devido a episódios pluviais intensos (CRISTO, 2002).

Dessa forma, esses mapas indicam a potencialidade de ocorrência de acidentes, expressando a suscetibilidade através de classes de probabilidade de ocorrência.

Segundo Pfaltzgauff (2007), a carta de suscetibilidade é um tipo de carta geotécnica, que através de uma análise interpretativa de dados geológico-geotécnicos, destina-se a utilização prática para os trabalhos de gestão territorial.

As classes de estabilidade do modelo *SHALSTAB* podem ser reclassificadas para um mapa semaforico que divide a suscetibilidade em alta, média ou baixa. As classes definidas como Incondicionalmente Instáveis e Incondicionalmente Estáveis são classificadas como alta e baixa suscetibilidade, respectivamente, enquanto as demais são classificadas como média suscetibilidade, como pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Compatibilização das classes de estabilidade com graus de suscetibilidade

Classe de Estabilidade <i>SHALSTAB</i>		Suscetibilidade
Instáveis	Incondicionalmente Instável e Não Saturado	Alta
	Incondicionalmente Instável e Saturado	
	Instável e Saturado	Média
Estáveis	Instável e Não Saturado	
	Estável e Não Saturado	
	Incondicionalmente Estável e Não Saturado	Baixa
	Incondicionalmente Estável e Saturado	

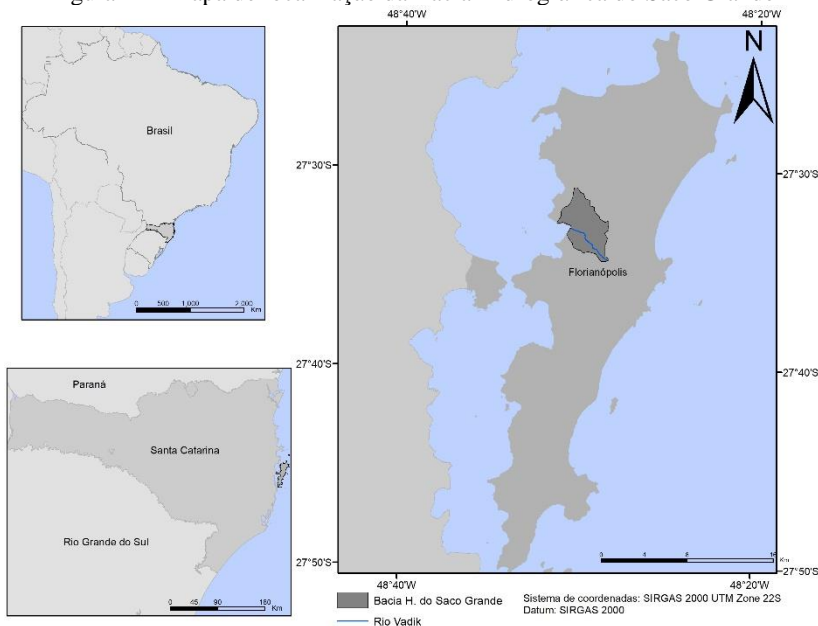
Fonte: Adaptado de Guesser (2016).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida é a Bacia Hidrográfica do Saco Grande, localizada na região oeste da Ilha de Santa Catarina, entre a região central e as praias do norte, como visto na Figura 12. É uma região que está se desenvolvendo, sobretudo nos últimos anos, principalmente devido aos novos empreendimentos que têm se instalado no local, proporcionando uma maior procura para habitações. Grandes empresas do ramo de decoração, *marketing* e tecnologia estão presentes nessa região, além de um *shopping center*. O crescimento acelerado dos empreendimentos movimenta bastante a economia local.

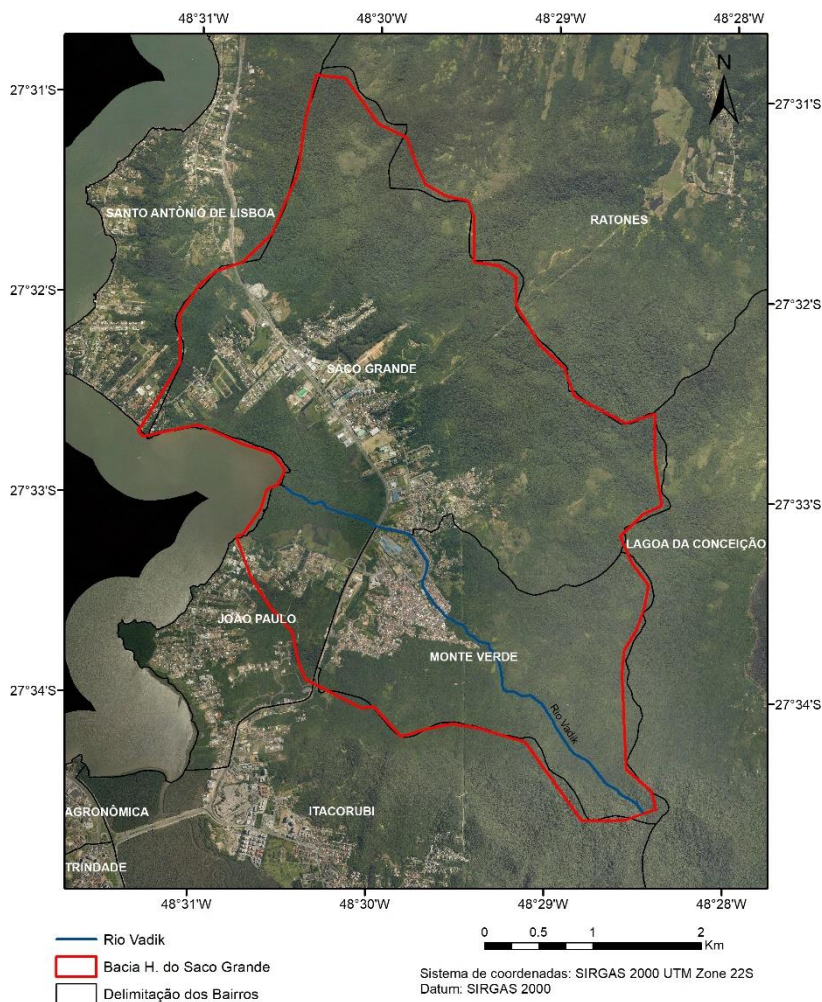
A Bacia Hidrográfica do Saco Grande tem como afluente principal o Rio Vadik, o qual possui uma área de drenagem de 17,19 km². Como apresentado na Figura 13, engloba os bairros Saco Grande, Monte Verde e uma parcela do bairro João Paulo. Segundo dados do IBGE (2006), a população da bacia ultrapassa 14 mil habitantes. O relevo varia bastante, por ser uma região com morros e praia, a altitude vai do nível do mar a 400 metros.

Figura 12 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Saco Grande



Fonte: Elaborado pela autora com dados de SDS, EPAGRI e DIVA-GIS

Figura 13 - Bairros que compõem a Bacia Hidrográfica do Saco Grande



Fonte: Elaborado pela autora com dados de EPAGRI, PMF e ANA

3.1 Clima

Florianópolis possui o clima definido segundo Köppen, como subtropical mesotérmico úmido com verão quente (Cfa). Com chuvas bem distribuídas durante o ano, a temperatura média anual é de 20°C e a umidade relativa média do ar é de 80% (EPAGRI, 2018). Apesar das chuvas bem distribuídas, durante o inverno são mais brandas e contínuas, enquanto que nos meses de janeiro e fevereiro as chuvas são mais fortes e rápidas. A Figura 14 apresenta um resumo das características climáticas de Florianópolis.

Figura 14 - Características climáticas de Florianópolis

Meses	Temp. Média °C	Temp. Máx abs °C	Temp. Min abs °C	Prec. Total (mm)	Prec. Máx em 24h (mm)	Dias de Chuva (n°)	Umidade Relat. (%)	Veloc. Vento (m/s)	Direção Ventos Pred.
Jan.	24.5	38.2	10	196.7	56.8	14.8	80.9	3.5	N
Fev.	24.6	38.8	14.8	186.7	58.8	14.6	81.5	3.6	N
Mar.	24.1	36.9	10.2	170	52.8	14.2	81.7	3.4	N
Abr.	21.8	35.4	7.7	128.8	40.2	11.2	81.6	3.1	N
Mai.	19.4	33.5	3.3	107.2	46.5	8.9	82.4	2.8	N
Jun.	17.4	32	1.7	85.2	29.5	8.4	83.3	2.9	N
Jul.	16.3	32.7	1.4	82.6	30	8.8	83.1	3.1	N
Ago.	16.8	35	1.3	94.3	32	9.1	82.5	3.6	N
Set.	17.8	32.9	4.9	117.1	37.6	11.6	82.8	3.8	N
Out.	19.4	32.5	7.8	132.4	39.6	12.8	81.4	4.1	N
Nov.	21.2	37.5	9.4	131.8	46.5	12.5	79.6	4.2	N
Dez.	23	38.2	12.5	141.9	46.3	13.1	79.5	4	N

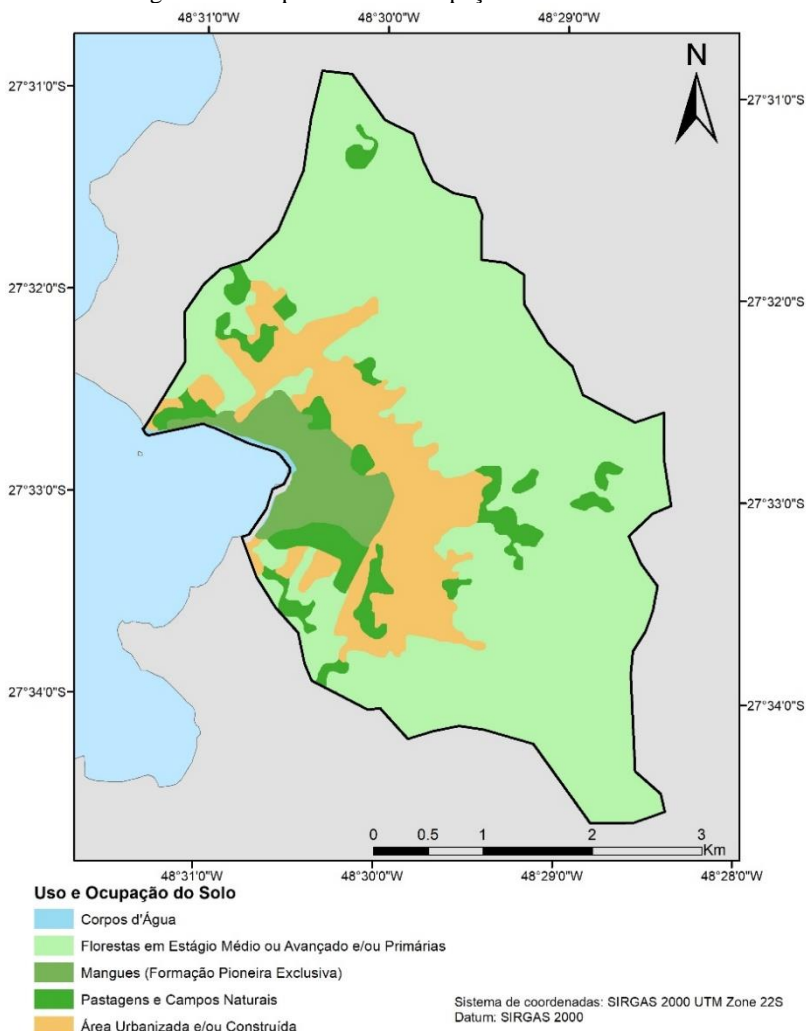
Fonte: (EPAGRI, 2007 *apud* ODRSKI, 2012, p. 28).

3.2 Uso e Ocupação do Solo

Segundo dados provenientes da FATMA (2005), a classificação de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Saco Grande é: Corpos d'Água, Florestas em Estágio Médio ou Avançado e/ou Primárias, Mangues (Formação Pioneira Exclusiva), Pastagens e Campos Naturais e Área Urbanizada e/ou Construída. Na Figura 15 pode ser observada a distribuição espacial do uso e ocupação do solo. Complementar a ela, a partir das informações contidas na tabela de

atributos, a Tabela 5 apresenta a porcentagem de área correspondente a cada uso do solo. É possível observar que a ocupação predominante na bacia hidrográfica é de florestas em estágio médio ou avançado e/ou primárias, presente em mais de 70% da área total. Interessante destacar que a área urbanizada é o segundo maior uso do solo, presente em pouco mais de 16% da bacia.

Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Bacia



Fonte: Elaborado pela autora com dados de SDS e FATMA

Tabela 5 - Tipos de uso do solo e áreas correspondentes

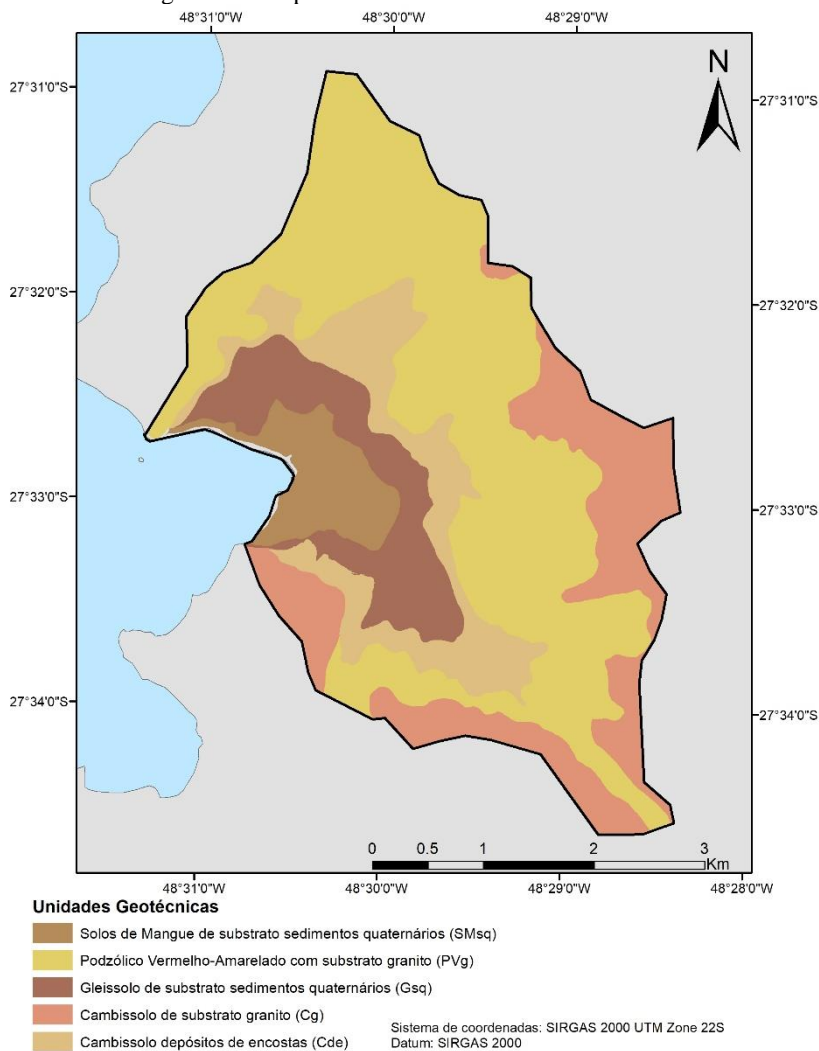
Tipo de uso	Área (km²)	Área (%)
Pastagens e Campos Naturais	1,25	7,26%
Área Urbanizada e/ou Construída	2,76	16,10%
Florestas em Estágio Médio ou Avançado e/ou Primárias	12,06	70,32%
Mangues (Formação Pioneira Exclusiva)	1,04	6,03%
Corpos d'Água	0,05	0,29%

Fonte: Elaborado pela autora

3.3 Unidades Geotécnicas

A Bacia Hidrográfica do Saco Grande é composta por cinco unidades geotécnicas, entre elas duas são sedimentares. A Figura 16 exibe a distribuição espacial das unidades presentes na bacia, que são: Solos de Mangue de substrato sedimentos quaternários (SMsq); Podzólico Vermelho-Amarelado com substrato granito (PVg); Gleissolo de substrato sedimentos quaternários (Gsq); Cambissolo de substrato granito (Cg); e Cambissolo depósitos de encostas (Cde). A Tabela 6 apresenta a área correspondente de cada unidade geotécnica presente na bacia hidrográfica.

Figura 16 - Mapa das Unidades Geotécnicas da Bacia



Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS e dados alterados por CHRIST (2012) de SANTOS (1997)

Tabela 6 - Unidades geotécnicas e áreas correspondentes

Unidade geotécnica	Área (km ²)	Área (%)
Solos de Mangue de substrato sedimentos quaternários	1,10	6,41%
Podzólico Vermelho-Amarelado com substrato granito	3,31	19,33%
Gleissolo de substrato sedimentos quaternários	8,44	49,32%
Cambissolo de substrato granito	1,94	11,36%
Cambissolo depósito de encostas	2,33	13,59%

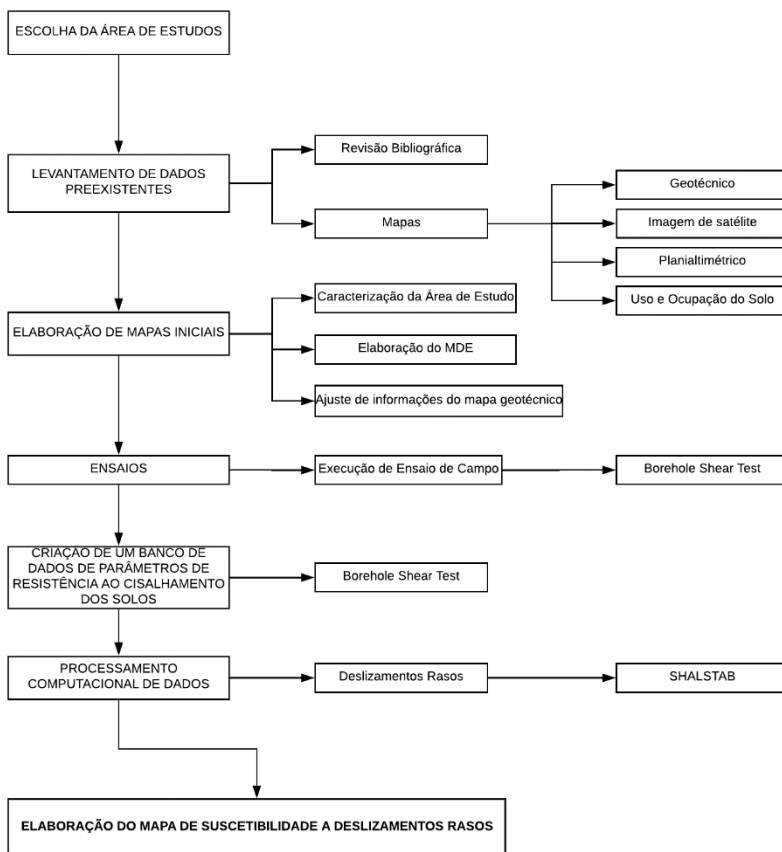
Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que há a predominância da unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários. A segunda maior unidade é de Podzólico Vermelho-Amarelado com substrato granito. A unidade menos expressiva é correspondente aos Solos de Mangue de substrato sedimentos quaternários.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento e a obtenção dos resultados deste estudo, uma sequência de procedimentos foi seguida, a qual pode ser observada no fluxograma da Figura 17. A metodologia consistiu basicamente em um levantamento de dados preexistentes da Bacia Hidrográfica em estudo para a elaboração dos mapas iniciais, execução de ensaios de campo em três diferentes pontos através do método *Borehole Shear Test*, criação de um banco de dados e processamento computacional com utilização do modelo matemático *SHALSTAB*.

Figura 17 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora

4.1 Levantamento de Dados Preexistentes

Uma etapa muito importante do estudo foi a obtenção de mapas preexistentes para uma melhor análise de alguns aspectos da bacia hidrográfica em estudo. Os dados preexistentes para a realização deste estudo foram obtidos a partir das fontes cartográficas apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Informações dos dados preexistentes utilizados

Fonte Cartográfica	Escala	Sistema de Referência	Sistema de Coordenada	Ano	Fonte
Hidrografia	-	SIRGAS 2000	UTM	-	ANA (disponibilizada pela SDS)
Limites municipais	-	SIRGAS 2000	UTM	2013	SDS
Limite de bacias hidrográficas	1:50.000	SIRGAS 2000	UTM	2005	EPAGRI/SDS
Bairros	Base em ortofoto de escala 1:2.000	SIRGAS 2000	UTM	-	PMF
Curvas de nível	1:10.000	SIRGAS 2000	UTM	-	SDS
Unidades Geotécnicas	1:25.000	SIRGAS 2000	UTM	2012	Alterado por Christ (2012) de Santos (1997)
Uso e Ocupação do Solo	1:50.000	SIRGAS 2000	UTM	2005	FATMA
Modelo Digital de Elevação	Base em curvas de nível 1:10.000	SIRGAS 2000	UTM	-	Elaborado pela autora com base nas curvas de nível
Ortofotos	-	SIRGAS 2000	UTM	2010	SDS

Fonte: Elaborado pela autora

4.2 Elaboração de Mapas Iniciais

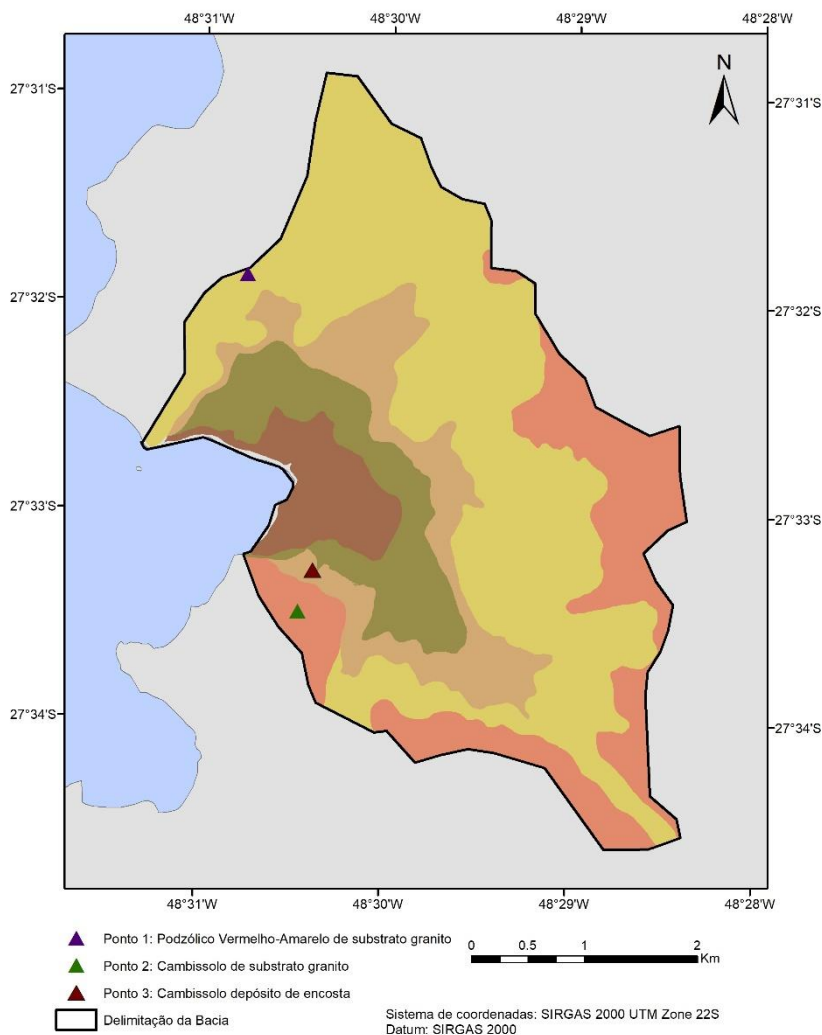
Os mapas do Tópico 3, apresentados da Figura 12 a Figura 16 foram gerados principalmente com a utilização da ferramenta *Clip*. As bases de dados utilizadas são apresentadas na Tabela 7. As bases podem ser acessadas publicamente, com exceção do mapa de unidades geotécnicas, fornecida e adaptada por CHRIST (2012) criada por SANTOS (1997).

4.3 Ensaio

Para a elaboração deste estudo apenas um tipo de ensaio foi realizado, o *Borehole Shear Test*, que consiste num método de ensaio de

campo para a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo. Das cinco unidades geotécnicas presentes na bacia, as duas unidades com solos sedimentares foram desconsideradas por não possuírem declividade acentuada. Assim, foi definido um local para a realização do ensaio em cada uma das três unidades geotécnicas presentes na área de estudo. Considerando que o deslizamento se comportará igualmente em toda a unidade geotécnica, as três unidades geotécnicas foram suficientes, assumindo-se que os resultados obtidos em um determinado ponto, se repetiram para a totalidade da área representada por essa unidade geotécnica. A identificação dos pontos e das unidades geotécnicas correspondentes podem ser observadas na Figura 18:

Figura 18 - Localização dos pontos de ensaio com as respectivas unidades geotécnicas

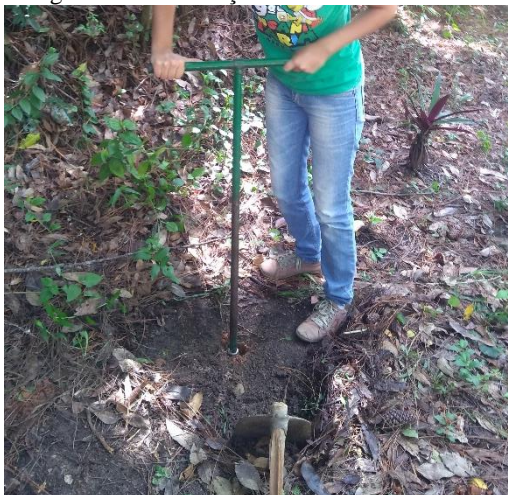


Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS e de dados alterados por CHRIST (2012) de SANTOS (1997)

A execução do *Borehole Shear Test* iniciou com a limpeza e nivelamento do terreno. Com o auxílio de um trado manual foi realizada

a perfuração (Figura 19), obtendo-se um furo de diâmetro suficiente para que a sonda se acomodasse completamente.

Figura 19 – Perfuração com um trado manual



Fonte: Arquivo pessoal

Depois de executada a perfuração, o furo foi preenchido com água (Figura 20) e aguardou-se 10 minutos. Em seguida, o equipamento foi montado e a sonda inserida no furo.

Na sequência, foi aplicada a primeira tensão normal, de 20 kPa. O furo foi novamente preenchido com água e aguardaram-se mais 10 minutos para consolidação. Em seguida, a manivela foi girada (Figura 21), gerando uma tensão cisalhante nas paredes do furo, que foi determinada observando-se o manômetro do equipamento. Essa tensão é correspondente à máxima tensão observada, ou seja, quando a pressão para de aumentar ou começa a diminuir, para-se de girar a manivela e anota-se o valor.

Após a determinação da tensão cisalhante a sonda foi retirada, girada e novamente inserida no furo. O processo anterior foi repetido com a tensão normal variando de 20 em 20 kPa, sendo o último 100 kPa. O tempo de espera após a aplicação da tensão normal e preenchimento de água foi de 5 minutos.

Figura 20 - Preenchimento do furo com água



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 21 - Aplicação da tensão cisalhante



Fonte: Arquivo pessoal

Com os resultados das tensões obtidas no ensaio, foram traçadas as envoltórias de ruptura (“tensão cisalhante x tensão normal”). A partir do traçado, foi determinada a equação da reta, os parâmetros de resistência ao cisalhamento e o coeficiente de determinação. Os resultados são apresentados no tópico 5.1.

4.4 Processamento Computacional de Dados

4.4.1 *SHALSTAB*

Para a realização da modelagem com o *SHALSTAB*, foi utilizada a ferramenta *Automatic SHALSTAB Analysis (ASA)* desenvolvida por Sbroglia (et al., 2017), sendo esta adicionada ao *Toolbox* do *software ArcGIS*. Esta ferramenta contém a rotina automatizada das equações matemáticas do modelo *SHALSTAB*.

Foi executada a situação de oito direções, a qual considera o critério de que, analisando as células do *raster*, a água vai escoar em uma direção entre as oito possíveis. O escoamento ocorre onde a declividade entre as células é maior. Para isso foram utilizados dois *shapes*, o MDE da bacia e o mapa geotécnico contendo as informações descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados de entrada da camada geotécnica

Ponto	Coesão do solo (N/m ²)	Coesão das raízes (N/m ²)	Peso específico saturado (kg/m ³)	Ângulo de atrito (graus)	Peso da vegetação (N/m ²)	Profundidade de análise (m)
Ponto 1	14035	0	1784,50	13,69	0	5
Ponto 2	7000	0	1886,47	27,92	0	5
Ponto 3	4833	0	2019,04	25,39	0	5

Fonte: Elaborado pela autora

A coesão do solo e o ângulo de atrito foram determinados por meio do BST, como já mencionado anteriormente neste trabalho. Os valores de pesos específicos saturados adotados foram determinados por Christ (2014).

A profundidade do solo (z) foi determinada pelo limite da divisão entre deslizamentos rasos e profundos, que segundo Castro (2002, *apud* Fernandes e Amaral 1996) é entre 0,5 e 5,0 metros.

A coesão das raízes não foi considerada, pois segundo Guessser (2016 *apud* Michel, 2013) a profundidade em que a coesão das raízes contribui para elevar a resistência ao cisalhamento do solo atua até uma profundidade de 3 metros. O peso da vegetação também foi desconsiderado.

5 RESULTADOS

Os resultados decorrentes do ensaio executado com o *Borehole Shear Test* (BST) e da modelagem com o *SHALSTAB* são apresentados neste capítulo.

5.1 *Borehole Shear Test*

Os resultados do ensaio BST são apresentados da Tabela 9 a Tabela 11 para cada um dos pontos analisados. Nelas é possível observar a tensão cisalhante correspondente para cada tensão normal aplicada. Essas informações foram necessárias para o traçado das envoltórias de ruptura dos ensaios, que podem ser observados na Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

5.1.1 Ponto 1

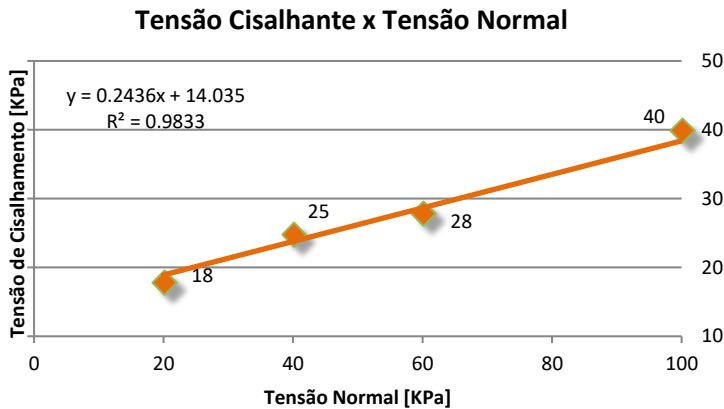
O primeiro ponto analisado está localizado na unidade geotécnica de solo Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito (PVg). Os resultados do ensaio de campo podem ser observados na Tabela 9. A partir dessas informações o gráfico da envoltória de ruptura foi plotado, como mostra a Figura 22.

Tabela 9 - Resultados BST Ponto 1

Estágio	Tempo de consolidação (min)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)
1	10	20	18
2	5	40	25
3	5	60	28
4	5	100	40
5	5	120	42

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22 - Envoltória de ruptura no ponto 1



Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados são considerados satisfatórios, visto que o coeficiente de determinação (r^2) ficou acima de 0,98, justificando que o modelo se ajustou à amostra.

5.1.2 Ponto 2

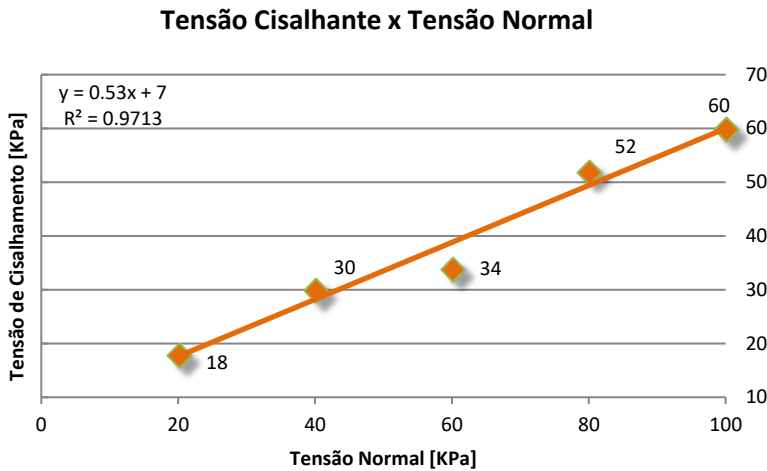
O segundo ponto analisado está localizado na unidade geotécnica do Cambissolo de substrato granito (Cg). Os resultados do ensaio de campo podem ser observados na Tabela 10. A partir dessas informações da envoltória de ruptura foi plotado, como mostra a Figura 23.

Tabela 10 - Resultados BST Ponto 2

Estágio	Tempo de consolidação (min)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)
1	10	20	18
2	5	40	30
3	5	60	34
4	5	80	52
5	5	100	60

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23 – Envoltória de ruptura do Ponto 2



Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados são considerados satisfatórios, visto que o coeficiente de determinação (r^2) ficou acima de 0,97, justificando que o modelo se ajustou à amostra.

5.1.3 Ponto 3

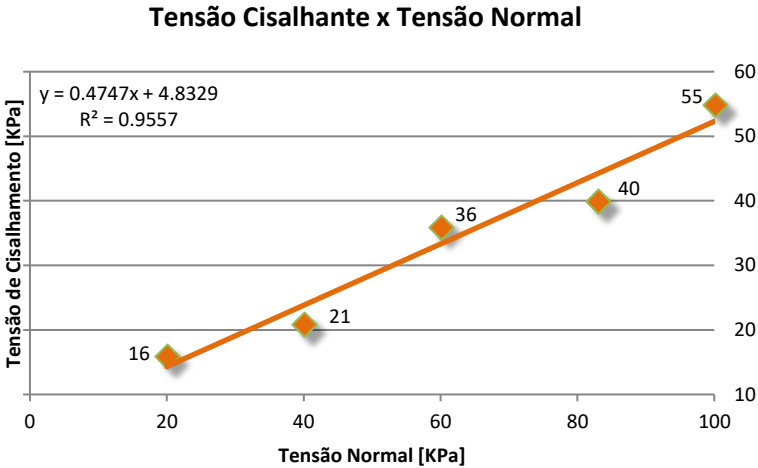
O terceiro ponto analisado está localizado na unidade geotécnica do Cambissolo depósito de encosta (Cde). Os resultados do ensaio de campo podem ser observados na Tabela 11. A partir dessas informações o gráfico da envoltória de ruptura foi plotado, como mostra a Figura 24.

Tabela 11 - Resultados BST Ponto 3

Estágio	Tempo de consolidação (min)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante (kPa)
1	10	20	16
2	5	40	21
3	5	60	36
4	5	80	40
5	5	100	55

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 24 – Envoltória de ruptura do Ponto 3



Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados são considerados satisfatórios, visto que o coeficiente de determinação (r^2) ficou acima de 0,96, justificando que o modelo se ajusta à amostra.

Em cada um dos casos, com a determinação da equação da reta os parâmetros de resistência foram obtidos, onde: o arco tangente do coeficiente angular representa o ângulo de atrito interno, e o coeficiente linear representa a coesão. O resumo dos parâmetros de resistência de cada um dos pontos pode ser observado na Tabela 12:

Tabela 12 - Tabela resumo dos parâmetros de resistência

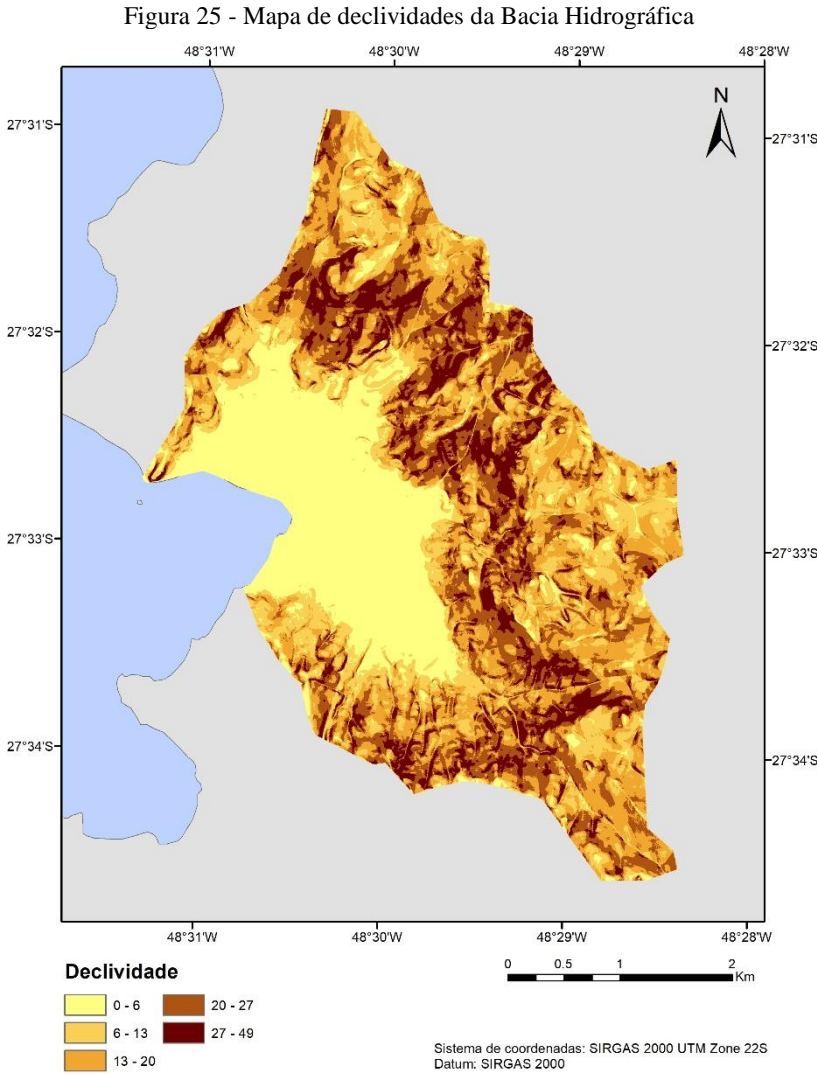
Ponto	Ângulo de atrito interno (°)	Coesão (kPa)
1 – PVg	13,69	14,04
2 – Cg	27,92	7,00
3 – Cde	25,39	4,83

Fonte: Elaborado pela autora

O maior ângulo de atrito foi obtido no Ponto 2, e o menor no Ponto 1. Bem como a maior coesão foi observada no Ponto 1 e a menor no Ponto 3.

5.2 SHALSTAB

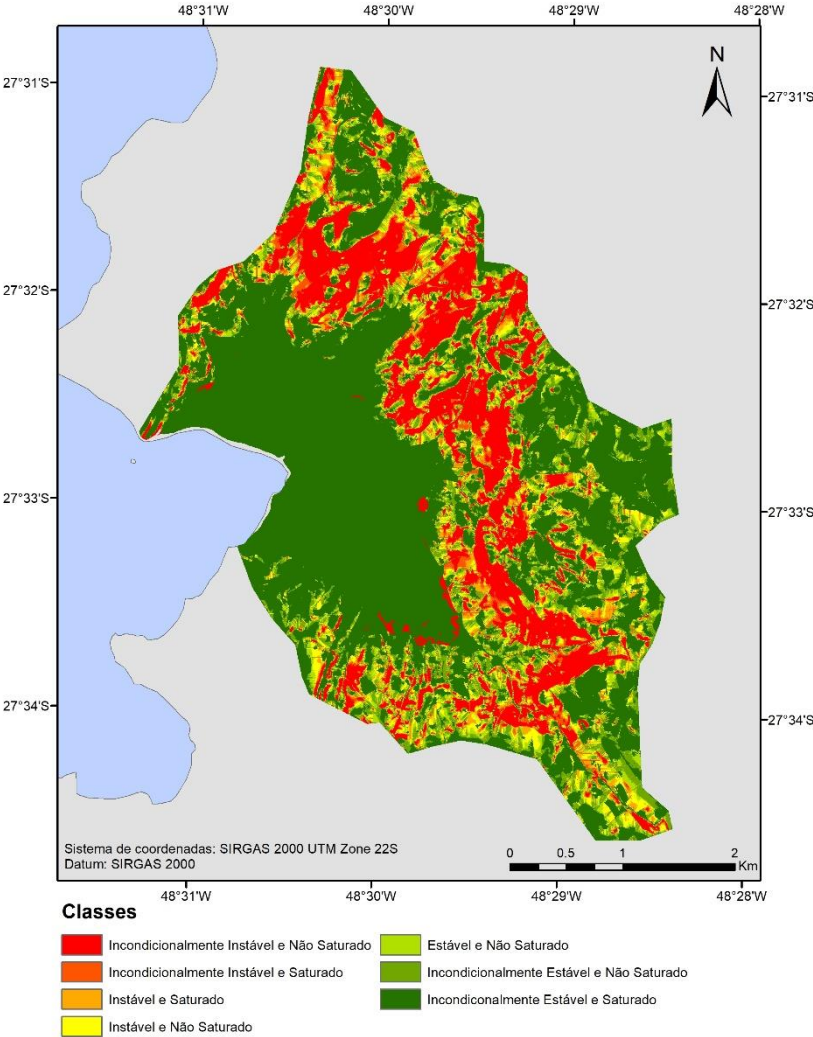
A Figura 25 apresenta o mapa de declividade da bacia, onde as áreas mais escuras apresentam grande declividade, enquanto as áreas mais claras apresentam menor declividade.



Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS

A resposta do modelo em formato *raster*, apresenta as sete diferentes classes de estabilidade, já discutidas anteriormente. O mapa gerado pode ser observado na Figura 26.

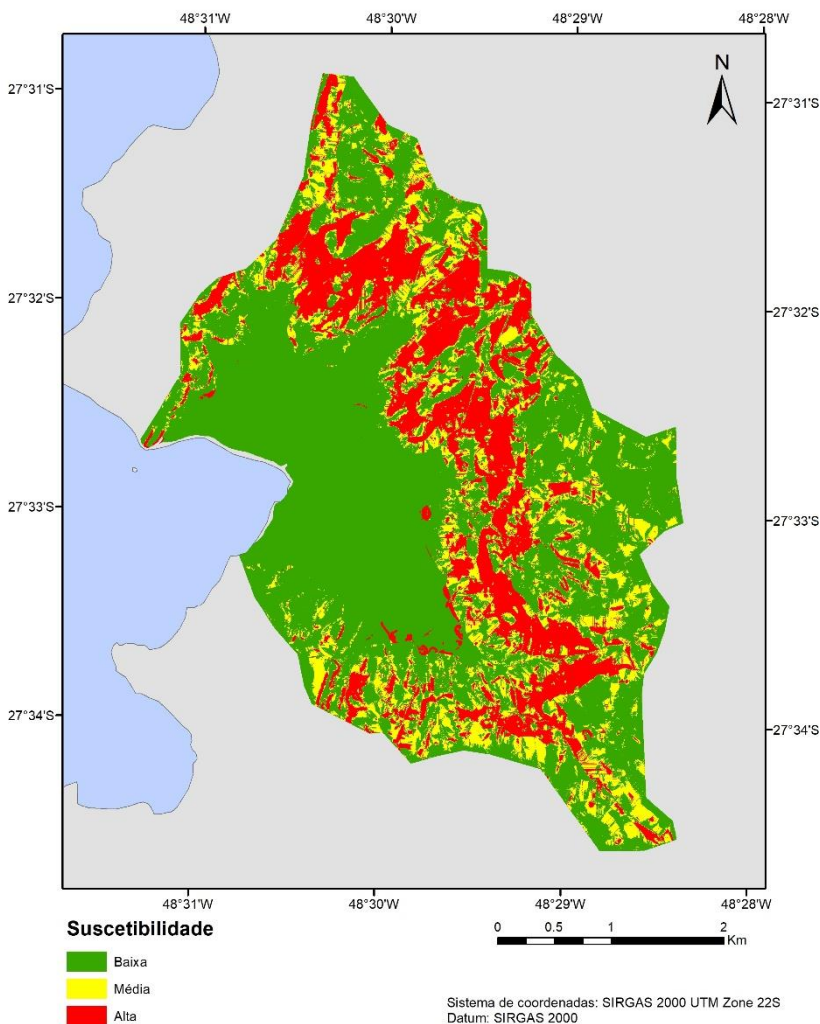
Figura 26 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais gerado pelo modelo SHALSTAB



Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS

Para facilitar a visualização do grau de suscetibilidade a deslizamentos rasos da bacia hidrográfica, foi elaborado o mapa, apresentado na Figura 27, onde são representadas apenas as classes de alta, média e baixa suscetibilidade a deslizamentos rasos.

Figura 27 - Mapa de suscetibilidade simplificado



Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS

As áreas classificadas como instáveis, ou de alta suscetibilidade, estão presentes nas regiões onde a declividade é mais acentuada, como pode ser observado na Figura 25.

O número de *pixels* e o valor de área presentes em cada classe de estabilidade, bem como a área da bacia presente em cada classe de suscetibilidade são observados na Tabela 13.

Tabela 13 - Número de pixels e área por classe de estabilidade e suscetibilidade

Classe de estabilidade	Número de células (<i>pixels</i>)	Área		Suscetibilidade	Área	
		km²	%		km²	%
A	305.535	3,06	17,94	Alta	3,74	21,92
B	677.550	0,68	3,99			
C	671.602	0,67	3,93			
D	101.954	1,02	5,98	Média	2,75	16,12
E	106.958	1,06	6,21			
F	178.579	1,79	10,49	Baixa	10,57	61,96
G	877.887	8,78	51,47			

Fonte: Elaborado pela autora

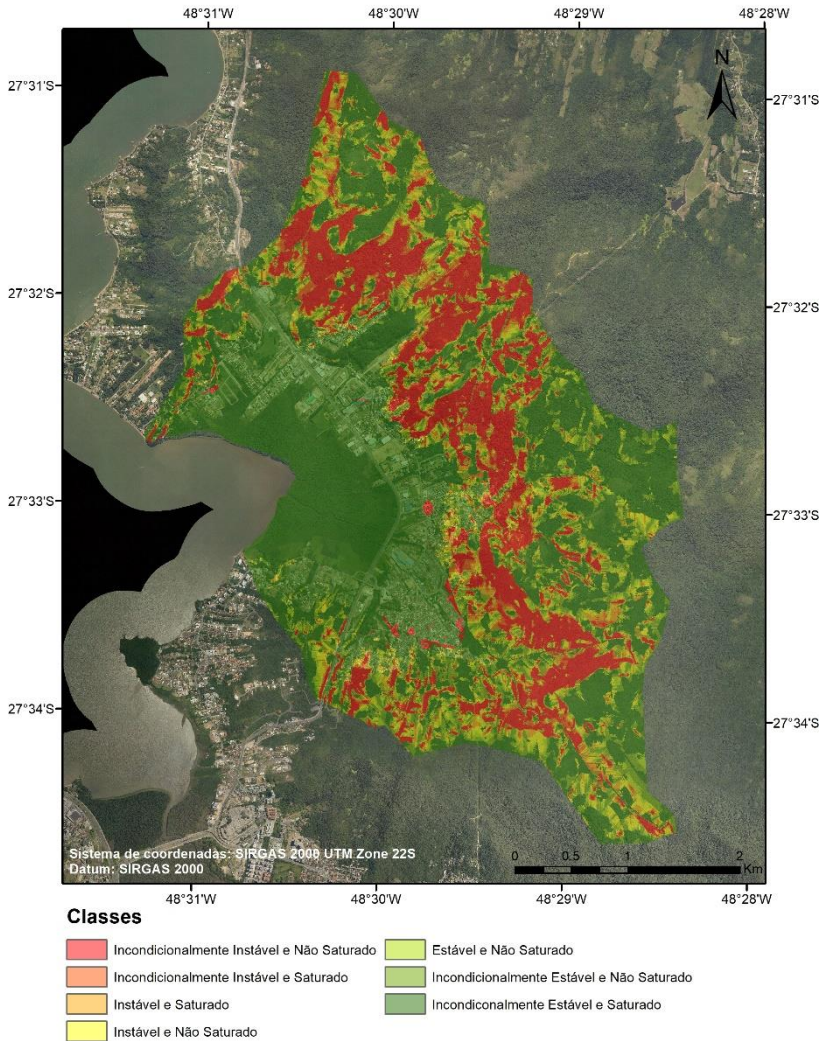
Ao observar a tabela, percebe-se que 68,17% da Bacia Hidrográfica do Saco Grande pertence às classes E, F e G. Apenas 31,83% foi classificada A, B, C e D.

As áreas com baixa suscetibilidade representam mais da metade (61,96%) da área da bacia. Ainda assim, a área de alta suscetibilidade representa 21,92% da área de estudo.

Nota-se que 16,12% da bacia é classificada como média suscetibilidade, área que requer avaliação de engenharia antes de construções serem aprovadas.

Ao sobrepor a imagem gerada por meio do *SHALSTAB* sobre a aerofoto de Florianópolis, pôde-se observar a presença de ocupação urbana nas regiões de instabilidade ou alta suscetibilidade da bacia hidrográfica, conforme a Figura 28 e Figura 29. Para melhor visualização essas regiões foram ampliadas e podem ser observadas na Figura 31 e Figura 30.

Figura 28- *Raster* resultado do SHALSTAB sobreposto a aerofoto de Florianópolis



Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS

Figura 29 - Classes de suscetibilidade sobrepostas a aerofoto

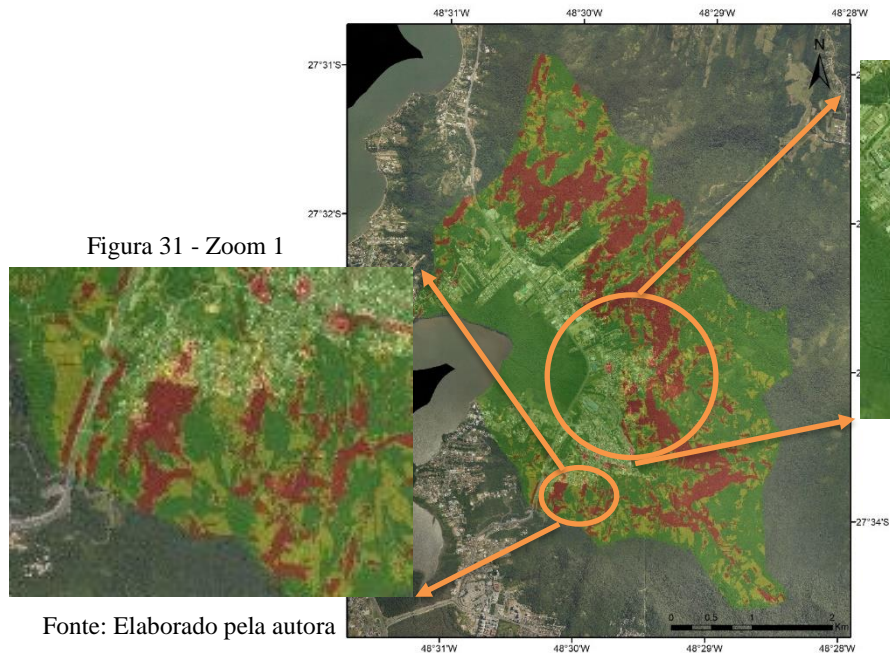


Figura 30 - Zoom 2



Fonte: Elaborado pela autora

Suscetibilidade

- Baixa
- Média
- Alta

Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
Datum: SIRGAS 2000

Fonte: Elaborado pela autora com dados da SDS

Para melhor quantificação da área urbana presente nas áreas classificadas como instáveis foi feita a sobreposição do vetor resultante da modelagem com os polígonos provenientes do *shapefile* de uso e ocupação do solo (FATMA, 2005). O resultado da sobreposição pode ser observado na Tabela 14 para divisão por classe de estabilidade e na Tabela 15 para divisão por classe de suscetibilidade.

Tabela 14 - Área de tipo de uso do solo por classe de estabilidade

Tipo de Uso do Solo	Classe/Área													
	A		B		C		D		E		F		G	
	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
Mangue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	1,02	6,00
Florestas	2,81	16,52	0,63	3,70	0,61	3,59	0,93	5,47	0,96	5,64	1,59	9,35	4,48	26,34
Urbano	0,12	0,71	0,03	0,18	0,04	0,24	0,05	0,29	0,06	0,35	0,12	0,71	2,33	13,70
Pastagem	0,12	0,71	0,02	0,12	0,02	0,12	0,03	0,18	0,04	0,24	0,08	0,47	0,92	5,41

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 15 - Área de tipo de uso do solo por suscetibilidade

Tipo de Uso do Solo	Classe/Área					
	Alta		Média		Baixa	
	km²	%	km²	%	km²	%
Mangue	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	6,00
Florestas	3,44	20,22	2,5	14,70	6,07	35,68
Urbano	0,15	0,88	0,15	0,88	2,45	14,40
Pastagem	0,14	0,82	0,09	0,53	1,00	5,88

Fonte: Elaborado pela autora

Nos mapas anteriores foi possível perceber que a ocupação urbana em áreas de instabilidade existe, apesar de não ser muito expressiva. A ocupação urbana nas classes de instabilidade A, B, C e D foi de apenas 1,41%, enquanto nas classes E, F e G, a porcentagem foi de 14,76%.

Já em classes de suscetibilidade, a ocupação urbana em áreas de alta suscetibilidade é de apenas 0,88%, enquanto em baixa suscetibilidade é de 14,40%.

Também foi realizada a sobreposição do vetor resultante da modelagem com os polígonos de unidades geotécnicas. O resultado dessa sobreposição pode ser observado na Tabela 16 para divisão por

classe de estabilidade e na Tabela 17 para divisão por classe de suscetibilidade.

Tabela 16 - Área de unidade geotécnica por classe de estabilidade

Uni. Geot.	Classe/Área													
	A		B		C		D		E		F		G	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
PVg	2,82	16,65	0,57	3,36	0,5	2,95	0,65	3,84	0,59	3,48	0,88	5,19	2,39	14,11
Cg	0,08	0,47	0,05	0,30	0,08	0,47	0,24	1,42	0,34	2,01	0,62	3,66	1,88	11,10
Cde	0,10	0,59	0,06	0,35	0,08	0,47	0,12	0,71	0,13	0,77	0,29	1,71	1,52	8,97

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 17 - Área de unidade geotécnica por suscetibilidade

Unidade Geotécnica.	Classe/Área					
	Alta		Média		Baixa	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
PVg	3,39	20,01	1,74	10,27	3,27	19,30
Cg	0,13	0,77	0,66	3,90	3,50	14,76
Cde	0,16	0,94	0,33	1,95	1,81	10,68

Fonte: Elaborado pela autora

A unidade geotécnica PVg compõe 49,58% da área de estudo, estando distribuída em áreas de baixa e alta declividades, sendo 19,30% relacionado com as classes de baixa suscetibilidade e 20,01% presente nas classes de alta suscetibilidade.

A unidade geotécnica Cg está localizada nas margens da bacia, local com baixa declividade. Compõe 19,42% da área de estudo, sendo que destes, 14,76% foi relacionado com a classe de baixa suscetibilidade, enquanto apenas 0,77% foi classificado como baixa suscetibilidade.

Já na unidade geotécnica Cde compõe 13,58% da área estudada. Por estar predominantemente presente nas áreas de baixa declividade, apenas 0,16% foi classificada como alta suscetibilidade, enquanto 10,68% foi classificado como baixa suscetibilidade.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO

Este trabalho gerou um mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos na Bacia do Saco Grande. Para tanto, foi criado um banco de dados georreferenciados com os resultados dos ensaios de campo realizados com o BST. Esses resultados foram satisfatórios no que diz respeito ao coeficiente de determinação (r^2), sendo todos muito próximos a 1. Isso permitiu avaliar os parâmetros de resistência do solo, essenciais para a execução do modelo *SHALSTAB*.

A execução do modelo *SHALSTAB* permitiu a obtenção de um mapa de sete classes de estabilidade que foi manipulado para a obtenção de um mapa de três classes suscetibilidade a deslizamentos rasos.

O mapa de classes de suscetibilidade indicou preponderância de áreas de baixa suscetibilidade. Mais da metade da área total analisada da bacia, 61,96% é de baixa suscetibilidade, enquanto apenas 21,92% é considerada com alta suscetibilidade. As áreas com maior suscetibilidade estão presentes em regiões com maior declividade e as com menos suscetíveis em regiões de menor declividade.

Em comparação com o mapa de uso e ocupação do solo, a mancha urbana, apesar de pouco expressiva está presente em áreas de alta suscetibilidade, com 0,88%, enquanto 14,40% está presente na área classificada com baixa suscetibilidade.

Já em relação às unidades geotécnicas, a unidade PVg está localizada tanto em áreas com declividade mais acentuada, como em áreas com menor declividade. Logo, 20,01% da sua área ocorre em áreas de alta suscetibilidade e 19,30% em áreas de baixa suscetibilidade. Em contrapartida, a unidade Cg está predominantemente localizada em áreas de baixa declividade, tendo 14,76% de sua área relacionada a áreas de baixa suscetibilidade. Da mesma forma, a unidade Cde, está principalmente localizada em áreas com baixas declividades, apresentando 10,68% de sua área relacionada com área de baixa suscetibilidade.

Como sugestão, para a obtenção de resultados mais precisos em próximos estudos, é interessante que sejam realizados mais ensaios BST em pontos melhor distribuídos dentro da bacia, além de fazer a determinação do peso específico do solo desses locais.

REFERÊNCIAS

ABROL, I. P. et al. **Advances in Soil Science: Soil Degradation**. Nova Iorque: Springer-verlang, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

BRASIL. IBGE. **Sinopse por setores**. 2006. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Unicamp - Instituto de Computação, 1996.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Manual de desastres: Volume I**. Brasília, 2003. 174 p.

CASTRO, Sando Sidnei Vargas de. **Análise da susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis - SC**. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002

CHRIST, Caroline Ester. **Mapeamento de Áreas Suscetíveis ao Colapso na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CRISTO, Sandro Sidnei Vargas de. **Análise de Susceptibilidade a Riscos Naturais Relacionados às Enchentes e Deslizamentos do Setor Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis - SC**. 2002. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DIAS, Regina Davison. **Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais**. IG, São Paulo, p.51-55, 1995.

DIVA-GIS. **Download data by country**. Disponível em: <<http://www.diva-gis.org/gdata>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

EM-DAT (Bélgica). **The international disaster database: General classification**. Disponível em: <<http://www.emdat.be/classification>>. Acesso em: 02 out. 2017.

EPAGRI. **Atlas Climatológico**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708&Itemid=484>. Acesso em: 24 mar. 2018.

EPAGRI. **Mapas Digitais de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

ESRI. **Understanding GIS: The Arc/Info Method**. Redlands, CA: Environmental System Research Institute (ESRI), 1992.

FATMA. **GeoSEUC**. Disponível em: <<http://geoseuc.fatma.sc.gov.br/#/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GUESSER, Luiz Henrique. **Mapeamento geotécnico da área urbana do município de Antônio Carlos (SC) aplicado ao planejamento do uso e ocupação do solo**. 2016. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GUIMARÃES, Renato Fontes et al. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS RASOS SHALLOW STABILITY**. Espaço & Geografia, v. 6, n. 2, p.133-150, fev. 2003.

HIGASHI, Rafael Augusto Reis. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. 2006. 486 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HIGASHI, Rafael Reis. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The Landslide handbook: A Guide to Understanding Landslides**. Virginia: Usgs, 2008. 129 p.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000**. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1. Acesso em: 02 out. 2017.

KOBIYAMA, Masato; MICHEL, Gean Paulo; GOERL, Roberto Fabris. **Relação entre desastres naturais e floresta**. Revista Genorte, [s.l.], v. 1, n. 6, p.17-48, 2012.

KOLEINI, Mehran; VAN ROOY, Jan Louis; BUMBY, Adam. **Slope stability modelling and landslide hazard zonation at the Seymareh dam and power plant project, west of Iran**. Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, [s.l.], v. 71, n. 4, p.691-701, 12 set. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10064-012-0437-4>.

LACRUZ, Maria Silvia Pardi; SOUZA FILHO, Manoel de Araújo de. **Desastres Naturais e Geotecnologias - Sistemas de Informação Geográfica: Caderno Didático nº 4**. São José dos Campos: Inpe, 2009.

LEBERT, Matthias; HORN, Rainer. **A method to predict the mechanical strength of agricultural soils**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 19, p.275-286, 1991.

LUTENEGGER, A. J.; HALBERG, G. R. **Borehole Shear Test in Geotechnical Investigations**. Laboratory Shear Strength Of Soil, ASTM STP 740, p.556-578, 1981.

MICHEL, Gean Paulo; KOBIYAMA, Masato; GOERL, Roberto Fabris. **Análise comparativa entre os modelos SHALSTAB e SINMAP na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais**.

In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 10, 2012, Foz do Iguaçu: X ENES, 2012. p. 1 - 21.

ODRESKI, Luis Felipe Rissetti. **Influência HidroLógica nos Processos Hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição - Florianópolis - SC.** 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PFALTZGAFF, Pedro Augusto dos Santos. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife.** 2007. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

PFM, Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Geoprocessamento Corporativo.** Disponível em: <<http://geo.pmf.sc.gov.br/download/download.php>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REGINATTO, Gisele Marilha Pereira. **Caracterização de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros - SC, com ênfase em escorregamentos translacionais.** 2013. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SANTOS, G.T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** Porto Alegre – RS: Tese (doutorado) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SBROGLIA, Regiane Mara et al. **Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Translacionais com o Uso da Ferramenta ASA - Automatic Shalstab Analysis.** In: XII Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 12., 2017, Florianópolis. Florianópolis: ABMS, 2017. p. 1 - 8.

SBROGLIA, Regiane Mara. **Maapeamento geotécnico das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SDS, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Sistema de Informações Geográficas.** Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SILVA, Apolino José Nogueira da; CARVALHO, Fabíola Gomes de. **Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Natal, p.853-862, jun. 2007.

WITT, Anne Carter. **Using GIS (Geographic Information System) to model slope instability and debris flow hazards in the French Broad River watershed, North Carolina.** Raleigh, 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado) – North Carolina State University.